



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA “LAST PLANNER” EN LA
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

FRANCISCA KARINA CAAMAÑO MUÑOZ

PROFESOR GUÍA:
JORGE PULGAR ALLENDES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
EDGARDO GONZALEZ LIZAMA
WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE

2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: FRANCISCA KARINA CAAMAÑO MUÑOZ
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: JORGE PULGAR ALLENDES

PROPUESTA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA “LAST PLANNER” EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

La programación utilizada en las construcciones en Chile, constantemente genera retrasos en los plazos de entrega programados. Para mejorar este aspecto, surge la motivación de aplicar el sistema Last Planner, específicamente en la construcción de carreteras, ya que es un tipo de contratos en donde es poco usual su implementación.

El Last Planner es un sistema de programación y control, el cual se basa en analizar qué se debería hacer, qué se puede hacer y finalmente qué se hará, para poder cumplir de mejor forma lo programado. Esta herramienta posee cuatro etapas: programa maestro, programación intermedia, programación semanal y medición de desempeño, a través de las cuales se lleva un control de lo programado analizando los recursos, restricciones de las tareas y los responsables.

El objetivo de esta memoria se centra en proponer la implementación de Last Planner en la construcción de carreteras. Para cumplir este, se realizan entrevistas a distintos profesionales relacionados con esta herramienta, particularmente encargados de programación y consultores, además de la revisión bibliográfica de distintas fuentes.

La propuesta consta de 3 fases: charlas y capacitaciones, aplicación de Last Planner y medición del desempeño. La primera se centra principalmente de charlas de inducción a las jefaturas y capacitaciones al personal de obra, la segunda explicita aspectos generales de la propuesta y la tercera expone cómo y con qué indicadores se mide el desempeño de la herramienta.

*A mis papás, Yanet y Carlos, que siempre me han entregado
todo su amor y apoyo incondicional en cada etapa.*

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Metodología	2
1.4. Resultados esperados	3
1.5. Guía de lectura	4
2. Marco conceptual	5
2.1. Carreteras	5
2.1.1. Preparación del área de trabajo	5
2.1.2. Movimiento de tierras	6
2.1.3. Capas granulares	6
2.1.4. Revestimientos y pavimentos	6
2.1.4.1. Pavimento asfáltico	7
2.1.4.2. Pavimento de hormigón	7
2.2. Diferencia de planificación y programación	8
2.2.1. Planificación	8
2.2.1.1. Organización	8
2.2.1.2. Planes de gestión	8
2.2.1.3. Seguimiento y control del proyecto	8
2.2.1.4. Informes mensuales	8
2.2.2. Programación	9
2.3. Sistema de programación tradicional	10
2.4. Lean Production	11
2.5. Lean Construction	13
2.5.1. Justo a Tiempo	14
2.5.2. Gestión Visual	14
2.5.3. Mapas de Cadena de Valor	15
2.5.4. 5S	15
2.5.5. Sistema Last Planner	16

2.5.5.1.	Programa maestro	17
2.5.5.2.	Programación intermedia	17
2.5.5.3.	Programación semanal	17
2.5.5.4.	Medición del desempeño	18
3.	Casos de aplicación internacionales de Last Planner en carreteras	19
3.1.	Nigeria	19
3.2.	Perú	21
3.3.	Otros	21
4.	Entrevistas	22
4.1.	Resultados	22
4.1.1.	Jesús Inciarte	22
4.1.2.	Ricardo Méndez	23
4.1.3.	Jorge Villegas	23
4.1.4.	Sebastián Ponce	24
4.1.5.	Marcelo Concha	25
4.1.6.	Luna Álvarez	25
4.1.7.	Nicolás Salinas	26
4.2.	Análisis de resultados	27
4.2.1.	Tablas comparativas	27
4.2.2.	Análisis general	29
5.	Propuesta de implementación	31
5.1.	Propuesta de implementación	31
5.1.1.	Definición de la propuesta	31
5.1.2.	Propuesta	31
5.1.3.	Fase 1: Charlas de inducción a jefaturas y capacitación del personal de obra	31
5.1.3.1.	Charlas de inducción a jefaturas	31
5.1.3.2.	Capacitación al personal de obra	32
5.1.4.	Fase 2: Capacitación del sistema Last Planner	32
5.1.5.	Fase 3: Medición del desempeño	34
5.2.	Ejemplo de carretera	35
5.2.1.	Componentes principales	36
5.2.2.	Diagramas explicativos	36
5.2.3.	Volúmenes	39
5.2.4.	Maquinaria	40
5.2.4.1.	Excavadora hidráulica CAT 336D2 L	40
5.2.4.2.	Motoniveladora CAT 140M3	40
5.2.4.3.	Rodillo compactador CAT CS54B	41
5.2.5.	Cronograma	41

6. Conclusiones	45
Bibliografía	47
Anexos	49
Anexo A. Casos de aplicación Last Planner en el mundo	49
A.1. Nigeria	49
A.1.1. Fase 1	50
A.1.2. Fase 2	51
A.1.3. Fase 3	52
A.2. Perú	53
Anexo B. Entrevistas realizadas	54
B.1. Preguntas	54
B.2. Transcripción de entrevistas	54
B.2.1. Jesús Inciarte	54
B.2.2. Ricardo Mendez	56
B.2.3. Jorge Villegas	57
B.2.4. Sebastián Ponce	58
B.2.5. Marcelo Concha	60
B.2.6. Luna Álvarez	62
B.2.7. Nicolás Salinas	63
Anexo C. Análisis maquinarias	66
C.1. Excavadora hidráulica CAT 336D2 L	66
C.2. Motoniveladora CAT 140M3	68
C.3. Rodillo compactador CAT CS54B	70

Índice de Tablas

2.1.	Producción convencional versus producción sin pérdidas. Fuente: Campero y Alarcón. (2008). Administración de Proyectos Civiles, p.470	13
4.1.	Comparación de aplicaciones de Last Planner. Fuente: Elaboración propia.	27
4.2.	Comparación de beneficios y dificultades. Fuente: Elaboración propia.	28
5.1.	Formato de tabla para el porcentaje de plan completado.	34
5.2.	Formato de tabla para las causas de no cumplimiento.	35
5.3.	Cantidades de material requeridas.	39
5.4.	Volúmenes de corte y relleno.	39
A.1.	Comparación 8 semanas de PPC (19/11/12 - 21/01/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	50
A.2.	Comparación 8 semanas de PPC (28/01/13 - 18/03/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	51
A.3.	Comparación 8 semanas de PPC (25/03/13 - 13/05/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	52
B.1.	Preguntas realizadas en las entrevistas.	54

Índice de Ilustraciones

1.1.	Esquema metodología.	3
2.1.	Funciones críticas del proceso productivo. Fuente: Richard D. et al. (s.f.). Sector construcción, subsector de caminos y carreteras. Mapa de procesos y ruta de aprendizaje.	7
2.2.	El ciclo de la programación. Fuente: Serpell y Alarcón. Planificación y Control de Proyectos.	10
2.3.	Esquema subconjuntos Last Planner.	16
2.4.	Esquema subconjuntos planificación tradicional. Fuente: Campero y Alarcón. (2008). Administración de Proyectos Civiles, p.412	16
3.1.	Comparación semanal PPC para las 3 fases. Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	20
3.2.	Razones del incumplimiento de actividades para las 3 fases. Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	20
5.1.	Esquema fases de implementación Last Planner. Fuente: Elaboración propia.	31
5.2.	Términos utilizados para definir los caminos. Fuente: Keller G. y Sherar J. (2004). Ingeniería de caminos rurales.	35
5.3.	Diagrama carretera. Fuente: Elaboración propia.	36
5.4.	Diagrama transversal carretera para la sección de relleno. Fuente: Elaboración propia.	37
5.5.	Diagrama transversal carretera para la sección de corte. Fuente: Elaboración propia.	38
5.6.	Diagrama carretera con tramos. Fuente: Elaboración propia.	39
5.7.	Cronograma ejemplo de carretera frente 1. Fuente: Elaboración propia.	42
5.8.	Cronograma ejemplo de carretera frente 2. Fuente: Elaboración propia.	43
A.1.	Razones de tareas incompletas (19/11/12 - 21/01/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	50
A.2.	Razones de tareas incompletas (28/01/13 - 18/03/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	51
A.3.	Razones de tareas incompletas (25/03/13 - 13/05/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.	52
A.4.	Evolución del PPC y SPI. Fuente: Olano et al. (2017). Understanding the relationship between planning reliability and schedule performance: a case study.	53
C.1.	Especificaciones excavadora hidráulica CAT 336D2 L. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	66

C.2.	Factor de llenado cucharón excavadora hidráulica CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	67
C.3.	Metros cúbicos por hora excavadora hidráulica CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	67
C.4.	Especificaciones motoniveladora CAT 140M3. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	68
C.5.	Velocidad de operación motoniveladoras. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	69
C.6.	Longitud efectiva de la hoja de motoniveladoras. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	69
C.7.	Rendimiento rodillos compactadores CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).	70

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Las carreteras representan una infraestructura fundamental para la conectividad y desarrollo del país. Impulsan el comercio, facilitan el transporte y contribuyen al crecimiento económico. Para llevar a cabo la construcción de estas, es de suma importancia contar con un sistema de planificación, programación y control que garantice su ejecución eficiente.

En Chile, existe una tendencia preocupante acerca de los plazos establecidos en los proyectos. Según los datos publicados por la Comisión Nacional de Productividad (2020), cerca del 50 % duplica el plazo programado. Estos retrasos, producen una serie de problemas, tales como costos adicionales por la construcción o multas.

Por este motivo, surge la motivación de proponer la aplicación de un sistema basado en la filosofía Lean Production en la construcción de carreteras. De esta forma, se mejora el sistema de programación actual, llevando a cabo el control semanal de las actividades, y de esa forma mejorar el cumplimiento de plazos e hitos.

La filosofía Lean Production, consta de la producción sin pérdidas, en otras palabras, reduce o elimina las tareas que no dan valor al producto, buscando optimizar los procesos y reducir los desperdicios. A partir de esta filosofía, surge la teoría del Lean Construction, la cual ayuda a mejorar el flujo de trabajo a través de una serie de herramientas, como lo son Just in Time, Gestión Visual, Mapas de Cadena de Valor, 5S y el sistema Last Planner.

En el presente trabajo de título, se abordará esta última herramienta, Last Planner, para la proposición de su implementación en la construcción de carreteras. Una de sus principales ideas es analizar qué se debería hacer, qué se puede hacer y finalmente qué se hará. Y luego, dentro de estas etapas, surgen distintos programas para realizar un control de las actividades, tales como el programa maestro, la programación intermedia, la programación semanal y finalmente la medición del desempeño de los trabajos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Proponer la aplicación del sistema Last Planner en la construcción de carreteras

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar entrevistas para conocer en qué tipo de contratos se aplica actualmente el Last Planner
- Identificar beneficios y limitaciones de Last Planner y ver cómo se adapta a los contratos de carreteras
- Desarrollar recomendaciones para la aplicación de Last Planner en la construcción de carreteras

1.3. Metodología

Los pasos para el desarrollo del trabajo de título corresponden a:

- Estudio bibliográfico de la construcción de carreteras.
- Recopilación bibliográfica de programación de contratos, filosofía Lean Production, Lean Construction y sistema Last Planner.
- Realizar entrevistas a profesionales encargados de programación, con el objetivo de saber si tienen conocimiento del sistema Last Planner, su opinión acerca de este y si es aplicado actualmente en carreteras.
- Realizar entrevistas a asesores de implementación de Last Planner, con el objetivo de saber su opinión acerca de este y si es aplicado actualmente en carreteras.
- Crear un ejemplo de una carretera tipo, con sus respectivas dimensiones y cronograma de actividades.
- A partir del punto anterior, realizar la propuesta de aplicación del sistema Last Planner en la construcción de carreteras.
- Identificar principales beneficios y dificultades de la implementación del Last Planner en la construcción de carreteras.
- Desarrollar recomendaciones para una correcta aplicación del sistema Last Planner particularmente en carreteras.

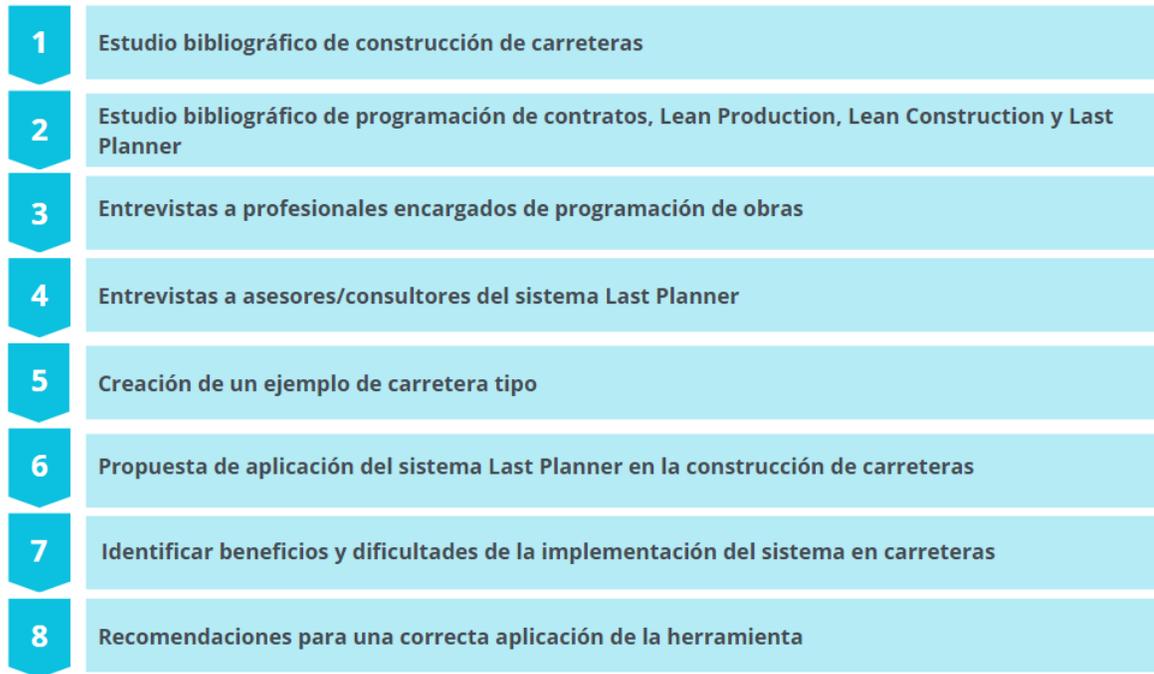


Figura 1.1: Esquema metodología.

1.4. Resultados esperados

Los resultados que se esperan obtener son los siguientes:

- A partir de la bibliografía escogida y del proyecto estudiado, visibilizar que existen problemáticas en la programación y control en la construcción de carreteras actualmente.
- Dar a conocer que el sistema Last Planner puede mejorar el desempeño de los contratos de construcción de carreteras.
- Conocer el estado actual de información de profesionales encargados de programación y asesores de Last Planner, y saber si se aplica en carreteras.
- Proponer un plan de implementación del sistema Last Planner para su aplicación en la construcción de carreteras.
- El conocer los beneficios y las limitaciones del sistema para un tipo de proyecto específico, permitirá el desarrollo de recomendaciones acordes que pueden ser utilizadas para futuros contratos de este tipo.

1.5. Guía de lectura

En el capítulo 2 se expone el marco conceptual relacionado a la presente memoria. Este incluye el proceso constructivo de una carretera, la diferencia de los conceptos planificación y programación, el sistema de programación tradicional, la filosofía Lean y sus distintas herramientas, dentro de las cuales se encuentra el Last Planner. De esta última, se mencionan sus etapas y se explica en qué consiste cada una.

En el capítulo 3 se presentan casos internacionales en donde se aplicó el sistema Last Planner en la construcción de carreteras. Se detalla el caso de Nigeria y Perú, además de mencionar otros 8 casos existentes en Reino Unido y Corea del Sur.

En el capítulo 4 se pueden observar entrevistas realizadas a distintos profesionales relacionados al área de programación de obras y que han utilizado el sistema Last Planner. Además se muestra un análisis de estas entrevistas en conjunto con tablas comparativas de sus respuestas.

En el capítulo 5 se presenta la propuesta de implementación del sistema Last Planner para la construcción de carreteras. Dentro de la propuesta, se tienen 3 fases las cuales se explican detalladamente en el capítulo. Además, se expone un ejemplo de carretera tipo para exponer de mejor forma cómo se aplicaría el sistema.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones correspondientes al trabajo de título. Posteriormente se presenta la bibliografía utilizada en formato APA y finalmente se exponen los anexos.

Capítulo 2

Marco conceptual

En este capítulo se expone el marco conceptual relacionado al trabajo de título, comenzando con el proceso constructivo de las carreteras en Chile, obtenido del Volumen N°5 del Manual de Carreteras. Luego, se explica la diferencia entre planificación y programación y el sistema de programación tradicional. Posteriormente, se expone la Filosofía Lean, separando entre Lean Production y Lean Construction, dentro del cual se explican distintas herramientas de esta filosofía, incluyendo el sistema Last Planner.

2.1. Carreteras

Para contextualizar, en esta sección se describirán los procedimientos usuales que se realizan para la construcción de carreteras. Para esto, se estudió el Volumen N°5 del Manual de Carreteras, denominado Especificaciones Técnicas Generales de Construcción.

2.1.1. Preparación del área de trabajo

Dentro de este ítem, se contemplan los siguientes trabajos:

1. Instalación de faenas y campamentos, que comprende la construcción o provisión, acondicionamiento y desarme de campamentos, bodegas, oficinas, laboratorios y demás instalaciones necesarias para el desarrollo normas de las faenas, incluyendo además las instalaciones, permisos, derechos y gravámenes de todo tipo que afecten la construcción de todas las instalaciones.
2. Trabajos de remoción, desarme o demolición de las obras, elementos y estructuras existentes dentro del área de trabajo, que interfieran con la ejecución de las obras, o que sea necesario su reemplazo.
3. Despeje y limpieza del área de construcción.
4. Se debe contar con un plan previamente aprobado del manejo de corta y reforestación de bosques, incluyendo los permisos pertinentes.

5. También se debe contar con un plan de manejo para el rescate arqueológico, incluyendo los permisos.

2.1.2. Movimiento de tierras

Esta sección considera lo expuesto a continuación:

1. Excavación general abierta, dentro de la cual se incluyen las excavaciones requeridas para conformar la plataforma del camino, las necesarias para realizar los escarpes, cortes del camino y la remoción de materiales inadecuados.
2. Excavación para las obras de drenaje, como las zanjas requeridas para la instalación de ductos de drenaje.
3. Colocación de geosintéticos, utilizados para la estabilización de suelos, separación de materiales, drenaje, control de erosión y revegetación, relleno estructural liviano y recapado.
4. Formación y compactación de terraplenes, y ensanches de los existentes para conformar la plataforma del camino.
5. Se deben efectuar los trabajos necesarios para el relleno estructural.
6. Defensas fluviales y obras de encauzamiento, en caso de existir cauces naturales o artificiales que puedan causar erosiones o socavaciones.
7. Preparación de la subrasante, es decir, los trabajos para la conformación de la plataforma del camino, dejándola en condiciones adecuadas para recibir las siguientes capas.

2.1.3. Capas granulares

Dentro de las capas granulares requeridas para los pavimentos, se consideran las siguientes:

1. Subbase granular, que considera la provisión, mezclado, colocación, perfiladura y compactación. Esta capa se denomina a la localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos flexibles.
2. Base granular, que comprende la confección, colocación y compactación, normalmente ubicadas sobre la subbase o subrasante.

2.1.4. Revestimientos y pavimentos

Se pueden encontrar pavimentos flexibles, como lo es el asfáltico, o pavimentos de hormigón. A continuación se describen ambos:

2.1.4.1. Pavimento asfáltico

En primer lugar, se debe realizar la imprimación, que consiste en aplicar un riego de asfalto, con el objetivo de impermeabilizar, evitar la capilaridad, cubrir y ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la base o subbase y la capa inmediatamente superior. Luego se aplica la mezcla asfáltica, la cual puede ser de granulometría densa, semidensa, gruesa, abierta o fina, de acuerdo a lo dispuesto en el proyecto.

2.1.4.2. Pavimento de hormigón

Una vez listas las capas granulares, se realiza el pavimento de hormigón, de acuerdo con los alineamientos, cotas, perfiles y espesores estipulados en el proyecto.

En la figura 2.1, se observan las principales funciones a realizar para la construcción y ejecución de un contrato vial.

Preparar área de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> - Despejar faja - Verificar línea de tierra y replanteo 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminar escombros, trasladar cercos - Realizar nivelación inicial de terrenos, instalar estacas y demarcaciones
Realizar Movimiento de tierras	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar cortes y terraplenes en fajas de camino - Cargar y transportar material a la obra - Realizar excavación de cortes en empréstitos, botaderos o plantas de chancado - Realizar relleno de terraplenes (empréstitos) - Realizar revestimiento de taludes - Trasladar materiales a botaderos 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar movimientos de tierra en faja, cortes y terraplenes - Realizar movimientos de tierra, cargando, descargando y despachando materiales - Realizar excavación de cortes sobre rasantes y corte de taludes - Realizar relleno con materiales sobre la rasante proyectada - Realizar perforación para instalar pernos de anclaje, malla y expendio de schocrete - Disponer de escombros en botaderos y recepcionar camiones con escombros
Instalar Capas granulares	<ul style="list-style-type: none"> - Transportar e instalar material granular - Habilitar planta de asfalto - Habilitar planta de chancado 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar bases granulares y realizar compactación - Operar planta de asfalto - Operar planta de áridos (Planta Chancado)
Instalar revestimiento y pavimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar pavimentación con asfalto - Realizar pavimentación con hormigón 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar asfalto, realizar compactación y arreglos con maquinaria vial in situ - Colocar carpeta de hormigón, realizar compactación y arreglos con maquinaria vial in situ
Construir drenaje y protección de la plataforma	<ul style="list-style-type: none"> - Construir obras de drenaje y saneamiento - Realizar desvío de cauces 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar construcción de obras de arte (obras de drenaje y saneamiento) - Realizar desvíos de cauces impactados por la obra cuando corresponda
Construir Estructuras y obras conexas	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar construcción de estructuras conexas - Realizar construcción de puentes - Realizar obras de paisajismo 	<ul style="list-style-type: none"> - Construir estructuras, pasarelas, paraderos - Construir cepas, instalar vigas - Realizar plantación de árboles, arbustos en faja, enlaces
Instalar Elementos de control y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar señalización y elementos de seguridad vial 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar señalización vertical y horizontal - Instalar defensas camineras, Instalar reductores de velocidad (tachas)

Figura 2.1: Funciones críticas del proceso productivo. Fuente: Richard D. et al. (s.f.). Sector construcción, subsector de caminos y carreteras. Mapa de procesos y ruta de aprendizaje.

2.2. Diferencia de planificación y programación

2.2.1. Planificación

La planificación para la materialización de un contrato (PEC), es el instrumento que identifica, ordena y explicita los elementos relevantes que conforman las estrategias y planes considerados para la materialización de un contrato.

2.2.1.1. Organización

- Matriz de responsabilidades
- Cargos por función organizacional
- Roles principales
- Movilización, permanencia y desvinculación del personal
- Gestión de las relaciones laborales e industriales

2.2.1.2. Planes de gestión

- Plan de contratación
- Plan de adquisiciones
- Plan de construcción/montaje
- Planes de puesta en marcha

2.2.1.3. Seguimiento y control del proyecto

- Control de plazos
- Programa de control
 - Hitos
 - Actividades críticas
 - Control de avance físico
 - Criterios para la medición de avances
 - Control de avance en costos

2.2.1.4. Informes mensuales

- Control de la calidad
- Control de prevención de riesgos
- Control de avance físico
- Control de costo

2.2.2. Programación

Según Serpell y Alarcón, los objetivos de la programación son los siguientes:

- **Análisis y definición:**
Concebir cómo debe ser realizado el trabajo, en qué orden y con qué recursos.
- **Anticipación:**
Prever potenciales dificultades, planear cómo superarlas y anticipar riesgos para que sus efectos puedan ser minimizados.
- **Programación de recursos:**
Para permitir un uso óptimo de los recursos disponibles para cada proyecto.
- **Coordinación y control:**
Proporcionar una base de datos para coordinar el trabajo de las partes involucradas en el proyecto y una base de referencia para predecir y controlar el tiempo, calidad y costos del proyecto.
- **Recopilación de datos:**
Para formar una base de datos para su uso en la preparación de futuros planes de trabajo en nuevos proyectos.

La programación se lleva a cabo dentro de un ciclo (figura 2.2), el cual consta de cuatro acciones fundamentales (Serpell y Alarcón):

1. La programación, que corresponde a la determinación del curso de acción y las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto.
2. La ejecución puede presentar imprevistos lo cual produciría variaciones de acuerdo a lo programado.
3. El seguimiento de la ejecución se realiza para contar en forma oportuna con información sobre lo que realmente está ocurriendo.
4. Con la información proporcionada por el seguimiento, se realiza el control. Este corresponde al análisis de la situación y la toma de decisiones para asegurar el logro de objetivos.

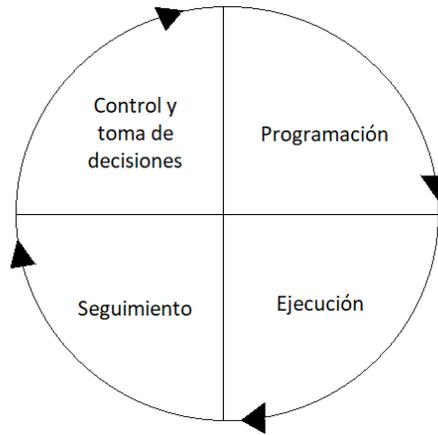


Figura 2.2: El ciclo de la programación. Fuente: Serpell y Alarcón. Planificación y Control de Proyectos.

A modo de conclusión, la programación es una etapa de la planificación, y consta de los planes de trabajo a realizar. En otras palabras, comprende las actividades a realizar y el tiempo de inicio y finalización de estas. Por otro lado, la planificación incluye la estrategia de ejecución, la organización de la obra, los planes de gestión del contrato, aspectos administrativos y controles del contrato.

2.3. Sistema de programación tradicional

Según los estudios realizados por el Centro de Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC), citado en la memoria de González Muñoz (2012), el modelo de programación tradicional se caracteriza por:

- La programación en general se basa en la experiencia del administrador y es una tarea particularmente difícil en este rubro, ya que debe ser hecha bajo condiciones inciertas y sin la cantidad de información necesaria.
- El traspaso de información comúnmente se realiza en forma verbal y abarca aspectos de corto plazo, descuidando los aspectos a largo plazo.
- El proceso de control se focaliza en actividades, despreocupándose de las unidades productivas. Hay ocasiones en que el origen de los problemas generados en una actividades proviene de las cuadrillas y si no se realiza un seguimiento y control al desempeño de ellas, difícilmente se tomarán acciones correctivas adecuadas y a tiempo.
- El hacer una programación muy detallada a largo plazo es innecesario debido a la gran cantidad de incertidumbre existente. Esta característica es inherente a la construcción, por lo que deberemos evitar perder el tiempo planificando con un gran grado de detalle pues inevitablemente habrá que reprogramar.
- Existe poco interés en agregar nuevas técnicas de programación. En general, se piensa que con la experiencia basta y los profesionales no mantienen actualizados sus conocimientos.

La programación tradicional aborda el periodo semanal definiendo actividades y un programa de trabajo, en función de lo que debe ser hecho, sin verificar lo que realmente se puede hacer. Una vez se determina el programa y el trabajo está en progreso, se reúnen los recursos adhiriéndolos al programa de la mejor manera posible (Campero y Alarcón 2008). En otras palabras, la programación tradicional se centra en programar las actividades con el objetivo de cumplir plazos, sin tomar en consideración lo que realmente se puede realizar.

2.4. Lean Production

Las ideas de esta filosofía se originaron en Japón, en los años 50. La aplicación más destacada fue el sistema de producción de Toyota (Koskela 1992), esta buscaba producir a bajos costos pequeñas cantidades de productos variados bajo la teoría del desperdicio cero y mejora continua.

Las actividades se pueden separar en: las que agregan valor al producto y las que no. La esencia de esta filosofía, es eliminar o reducir al máximo cualquier elemento que no agregue valor al producto.

Koskela (1992) postuló 11 principios básicos de la filosofía Lean:

1. Reducir las actividades que no agregan valor.

Las actividades que no agregan valor, también requieren de tiempo, recursos y espacio, pero no agregan valor al producto ni a los requerimientos del cliente, por lo tanto se deben reducir al máximo o eliminar.

2. Incrementar el valor del producto mediante la consideración de los requisitos del cliente.

Este principio busca identificar a los clientes y analizar sus requerimientos. Conociendo estos aspectos, se pueden entregar productos y servicios con un mayor valor para el cliente.

3. Reducir la variabilidad.

Desde el punto de vista del cliente, un producto uniforme es mejor, es decir, con menos variabilidad. Además al reducir esta, se minimizan las actividades que no agregan valor, por lo tanto, es fundamental eliminar sus causas fundamentales.

4. Reducir el tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo es la suma de los tiempos de procesamiento, inspección, espera y movimiento. Al reducir el tiempo de ciclo, se reducen los tiempos que lo componen, y por tanto se produce una mejora sucesiva de los procesos.

5. Simplificar el proceso minimizando el número de pasos, partes y relaciones.

Los procesos más simples incurren en menos gastos son más confiables y poseen menores tiempos de ciclo. Esta simplificación se puede lograr eliminando las actividades que no agregan valor y por otro lado, reconfigurando las que sí agregan valor al producto.

6. Aumentar la flexibilidad.

Resulta fundamental la adaptación a los cambios de manera rápida y eficiente.

7. Aumentar la transparencia del proceso.

La falta de transparencia en los procesos aumenta la propensión a errar, reduce la visibilidad de los errores y disminuye la motivación para mejorar. Por lo tanto, se busca que el proceso sea transparente y observable para facilitar el control y la mejora.

8. Centrar el control en el proceso completo.

La atención se debe centrar en el proceso completo, no solo en una parte de este. Para esto, primero se debe medir el proceso y luego tener una autoridad de control designada a esta labor.

9. Incorporar la mejora continua en el proceso.

Se debe realizar una medición y seguimiento de las mejoras, establecer objetivos, asignar responsabilidades y eliminar las causas de los problemas en lugar de hacer frente a sus efectos.

10. Equilibrar la mejora del flujo con las de conversión.

La mejora del flujo y la mejora de la conversión están íntimamente ligadas. Mejores flujos requieren menos capacidad de conversión, y por lo tanto, menos inversión en equipos. Los flujos más controlados facilitan la implementación de la nueva tecnología de conversión. La nueva tecnología de conversión puede proporcionar una menor variabilidad, y por tanto, beneficios de flujo.

11. Benchmarking.

Comparar los procesos propios con los de los líderes en el área, para poder incorporar sus aspectos positivos.

De acuerdo a los principios mencionados, la filosofía Lean, busca la mejora del costo, tiempo y valor de los flujos con el objetivo de buscar las causas de los problemas y prevenirlas, además, la producción se ve como un conjunto de conversiones y flujos, identificando que existen actividades que agregan valor al producto y otras que no. En cambio, la idea tradicional de producción se ve como un conjunto de conversiones y considera que todas las actividades agregan valor al producto. Esto se puede observar de mejor forma, en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Producción convencional versus producción sin pérdidas. Fuente: Campero y Alarcón. (2008). Administración de Proyectos Civiles, p.470

	Producción convencional	Producción sin pérdidas
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Actividades de control	Gestión, asesoramiento, control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Del departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos
Conceptualización de la producción	La producción consiste de conversiones (actividades). Todas las actividades añaden valor al producto	La producción consiste de conversiones y flujos; hay actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor al producto
Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos
Mejoramiento	Implementación de nueva tecnología	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología

2.5. Lean Construction

Desde principios de los 90, el “International Group of Lean Construction” ha desarrollado un nuevo referencial teórico denominado Lean Construction. Esta filosofía está orientada a eliminar las actividades que no agregan valor en la producción en esta área.

Numerosas empresas ya han adoptado esta filosofía a partir de mediados de los 90 en Estados Unidos, Inglaterra, Dinamarca, Suecia, Brasil, Chile, Perú, Colombia, Australia y otros países, demostrando la aplicabilidad de este enfoque. Jack Hallman, Director Corporativo de Proyectos de General Motors, ha señalado que en un periodo de 3 años desde la implementación de Lean Construction, han experimentado una baja sistemática de costos, accidentes, tiempos de ciclo de construcción y plazos en sus proyectos (Campero y Alarcón 2008).

La teoría Lean Construction ayuda a mejorar el flujo de trabajo, reduciendo la variabilidad y dependencia entre actividades. Es una forma de administración de producción aplicada a la construcción, cuyas objetivos principales son maximizar la satisfacción del cliente, usando un sistema de control desde el diseño hasta la entrega del producto.

Esta filosofía se puede aplicar mediante distintas herramientas, como lo son Just in Time, Gestión Visual, Mapas de Cadena de Valor, 5S y el Sistema Last Planner. A continuación se expone cada una de estas con su respectiva descripción.

2.5.1. Justo a Tiempo

También denominado Just in Time, JIT, busca el manejo eficiente de materiales, es decir, proporcionar los materiales correctos en cantidad y calidad, justo a tiempo para la producción y así, eliminar o reducir el tamaño de las bodegas (Pheng and Shang 2011).

De acuerdo a lo citado en la publicación de Pheng y Shang (2011), Gyampah y Gargeya (2001), consideran que la herramienta JIT es una estrategia a largo plazo que puede promover la excelencia y eliminar el desperdicio en toda la organización. Además, la implementación de esta herramienta puede traer los siguientes beneficios:

- Mejorar la ventaja competitiva de las empresas en términos de cumplir consistente y continuamente los requisitos del cliente.
- Mejorar la calidad de los materiales de construcción.
- Mejorar la productividad.
- Reducción de costos en términos de minimizar los niveles de inventario.
- Mejorar las relaciones con los proveedores.
- Completar el trabajo antes de lo previsto.

Las barreras que pueden existir son: costos de implementación, costos de tecnología y mantenimiento, costos laborales y la cultura.

2.5.2. Gestión Visual

Es una herramienta utilizada para que las personas puedan identificar elementos y materiales que falta, identificar las posiciones correctas de las herramientas, estandarizar puestos de trabajo, entre otros.

Según Ho (1993), citado en la memoria de Ibáñez Valenzuela, Felipe (2018), describe Gestión Visual como un enfoque de comunicación simple y atractivo, realizado mediante el uso de varios dispositivos, como pizarras, lemas, luces y unidades de visualización.

Los factores más relevantes para una correcta implementación son, la necesidad de obtener apoyo académico para mantener, desarrollar y evitar tener una aplicación descendente y hacer en su lugar un esfuerzo para involucrar a la mano de obra en el desarrollo e implementación, monitorear su ejecución y medir los resultados, definir claramente los métodos de ejecución y las responsabilidades para las diferentes herramientas de gestión visual, entre otros (Tezel et al. 2015).

2.5.3. Mapas de Cadena de Valor

Es una herramienta que permite la representación gráfica del estado actual y futuro del sistema de producción, con el objetivo de que los usuarios tengan un mejor entendimiento de las actividades de desperdicio que requieren eliminarse (García y Amador 2019).

De acuerdo a los autores, los pasos para su implementación son los siguientes:

- Selección de un área crítica productiva.
- Preparación del mapa del estado actual, dentro de esto se considera: la revisión de documentación existente, identificación de los procesos principales, definición de datos faltantes y por recopilarse, y recolección de la información.
- Análisis del mapa del estado actual.
- Mapa del estado futuro, que considera el cálculo del Tack Time, establecimiento del tiempo deseado y la implementación de la herramienta de mejora.

Según Yu et al. (2009), citado en la memoria de Ibañez Valenzuela, Felipe (2018), los mapas de cadena de valor tienen una buena aplicación en contratos de construcción de edificios, como también se utilizan en contratos de construcción de casas, donde si bien no es aplicable directamente, tiene sus variaciones que también logran mejorar el rendimiento.

2.5.4. 5S

Esta herramienta se denomina 5S, debido a su origen en 5 palabras en japonés: Seiri (clasificar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (sostener). Estas 5S, ayudan a eliminar los desechos y reducir las ineficiencias del proceso en el lugar de trabajo.

A continuación se explican de mejor forma los 5 conceptos mencionados (Salem et al. 2005):

1. Seiri: Se refiere a separar las herramientas necesarias y eliminar lo innecesario en el proceso de construcción.
2. Seiton: Consiste en organizar las herramientas y materiales para facilitar su uso.
3. Seiso: Limpieza de la zona de trabajo.
4. Seiketsu: Desarrollar un proceso de trabajo estándar con expectativas de mejora del sistema.
5. Shitsuke: Crear el hábito de ajustarse a las reglas y no permitir un retroceso a las antiguas formas de operación.

En resumen, es una herramienta que ayuda a mejorar distintos aspectos, como lo son los espacios de trabajo, la organización, limpieza, normas y convivencia dentro del lugar de trabajo.

2.5.5. Sistema Last Planner

Ballard y Howell (1994) desarrollaron un sistema de programación y control de proyectos llamado Last Planner, es decir, Último Planificador. El cual se basa en analizar qué se debería hacer, qué se puede hacer y finalmente qué se hará, de esta forma es más probable que se cumpla lo programado. Esto se puede ver gráficamente en el esquema de la figura 2.3.

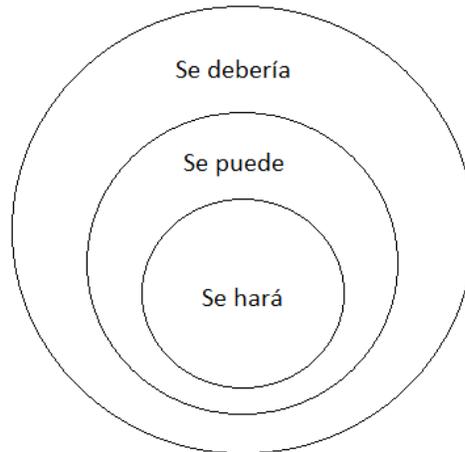


Figura 2.3: Esquema subconjuntos Last Planner.

A diferencia de la programación tradicional (figura 2.4), el sistema Last Planner considera que el debería, puede y hará, son subconjuntos. En cambio, en el esquema de programación tradicional, se considera que lo hecho es la intersección de lo que puede hacerse y lo que se hará (Campero y Alarcón 2008).

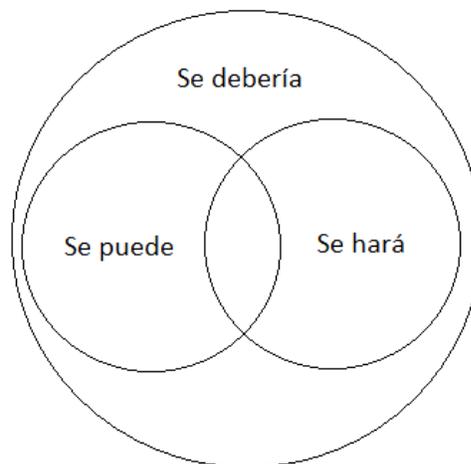


Figura 2.4: Esquema subconjuntos planificación tradicional. Fuente: Campero y Alarcón. (2008). Administración de Proyectos Civiles, p.412

Según Ballard (1994), los principales obstáculos presentes en la construcción son:

1. El enfoque de la gerencia está en el control y descuida el avance.
2. La programación no se concibe como un sistema, sino que descansa en las habilidades y talentos del responsable a cargo.
3. No se mide el desempeño del sistema de programación.
4. No se analizan los errores para identificar y actuar sobre las causas.

La programación en la fase inicial en los objetivos y limitaciones globales, luego se tiene la fase de ejecución, en la cual se decide qué es lo que se debería hacer para cumplir las metas estipuladas (Ballard y Howell 1994). Las actividades que son posibles de realizar una vez analizadas y eliminadas las restricciones, se denominan asignaciones, y quien las plantea, recibe el nombre de “último planificador” (Botero y Álvarez 2005).

Dentro de este sistema, se pueden distinguir cuatro etapas fundamentales: programa maestro, programación intermedia, programación semanal y medición del desempeño. A continuación se expone cada etapa con su respectiva descripción.

2.5.5.1. Programa maestro

También llamada programación general, se desarrolla según los objetivos planteados en el programa inicial. La estructura básica se subdivide en partes, determinando la secuencia para su ejecución y generando hitos de control. Este programa, debe demostrar la factibilidad de completar las actividades dentro del plazo, desarrollar y mostrar estrategias de ejecución, determinar las tareas que requieren plazos prolongados e identificar los hitos más relevantes (Campero y Alarcón 2008).

2.5.5.2. Programación intermedia

Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo, coordinando el diseño, proveedores, mano de obra, información y requisitos previos, para que las actividades puedan llevarse a cabo (Campero y Alarcón 2008).

Esta etapa abarca intervalos de 5 a 6 semanas. Se exploran con mayor detalle las actividades, de acuerdo a las condiciones reales, para determinar las restricciones que poseen, esta etapa tiene una visión de mediano plazo llamada lookahead, que permite prever las restricciones que presentarán las actividades al momento de ejecutarlas. Posteriormente, las actividades se someten a un proceso de preparación, en donde se eliminan las restricciones, para dejar la actividad lista para ser ejecutada (Botero y Álvarez 2005).

2.5.5.3. Programación semanal

Esta etapa es aquella que presenta mayor nivel de detalle antes de realizar un trabajo. Se desarrolla por diseñadores, supervisores, capataces y otros directamente relacionados con la ejecución del trabajo (Botero y Álvarez 2005).

El sistema Last Planner, busca incrementar la calidad del plan de trabajo semanal, el cual cuando se combina con el proceso de programación intermedia, genera el control del flujo de trabajo.

Según Botero y Álvarez (2005), algunas características comprometidas en la realización de planes acertados de trabajo semanal son:

- La correcta selección de la secuencia de trabajo, de acuerdo con el plan maestro establecido, las estrategias de ejecución y la constructabilidad (características que hacen que un diseño pueda ser construido).
- La correcta cantidad de trabajo seleccionada, teniendo en consideración la capacidad de trabajo de las cuadrillas.
- La definición exacta del trabajo a realizar y que puede hacerse, es decir, la garantía de que todos los prerequisites se han ejecutado y que se cuenta con recursos para lograrlo.

2.5.5.4. Medición del desempeño

El Last Planner necesita de la medición del desempeño de los trabajos semanales, la cual se realiza a través del porcentaje de asignaciones completadas, PAC, que es el número de realizaciones dividida por el número de asignaciones para una semana dada. De esta forma, compara lo que será hecho según el programa de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho, reflejando la fiabilidad del sistema de programación (Botero y Álvarez 2005).

Capítulo 3

Casos de aplicación internacionales de Last Planner en carreteras

En la presente sección, se muestran aplicaciones de este sistema en el mundo.

3.1. Nigeria

Se implementó el sistema Last Planner en la construcción de una carretera de 4 kilómetros y un puente de 80 metros de luz ubicado en este país. Esto implicó estudios de prellenado, limpieza, rellenos, compactación y escarificación, imprimación y asfaltado, muros de contención, estribos, obras de control de erosión y pilotes.

Esta implementación se realizó en 3 fases: limpieza y movimiento de tierras, nivelación y capas granulares, e imprimación y asfaltado. Se analizó la aplicación del sistema en un total de 24 semanas, en donde se medía el Porcentaje de Plan Completado, PPC, y las razones de incumplimiento de las tareas.

En la figura 3.1, se observa la comparación semanal de los PPC para las 3 fases, para el cual se obtuvo un promedio general de 73%. En la fase 1 fue donde se obtuvieron los porcentajes más bajos de PPC, luego se observa una estabilización para las fases 2 y 3, llegando a alcanzar hasta un 88%. Las personas que participaron en el proceso, se familiarizaron con la implementación y mostraron gran entusiasmo de aprender y mejorar.

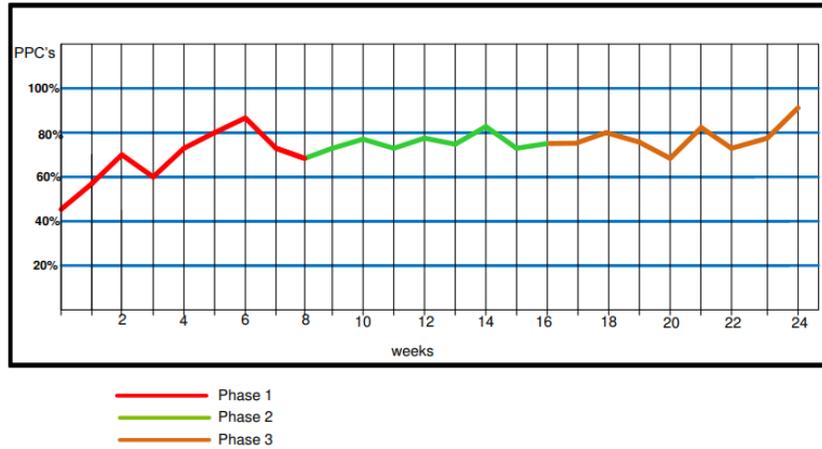


Figura 3.1: Comparación semanal PPC para las 3 fases. Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

En la figura 3.2 se expone un gráfico con las razones del incumplimiento de tareas, del cual se desprende que la avería de equipos fue la principal causa durante las 24 semanas registradas, con un total de 85 ocurrencias. Esto se debe a que en cualquier contrato de construcción de carreteras en Nigeria, las maquinarias y equipos son los principales elementos utilizados para llevar a cabo las actividades, por lo tanto, cuando estas fallan se produce un efecto en cadena en el programa y los resultados esperados. Además, como este tipo de contratos es de naturaleza lineal, es obligatorio que se termine una tarea antes de comenzar otra, esto indica la importancia de los trabajos previos y explica la razón de que este motivo sea el segundo más recurrente.

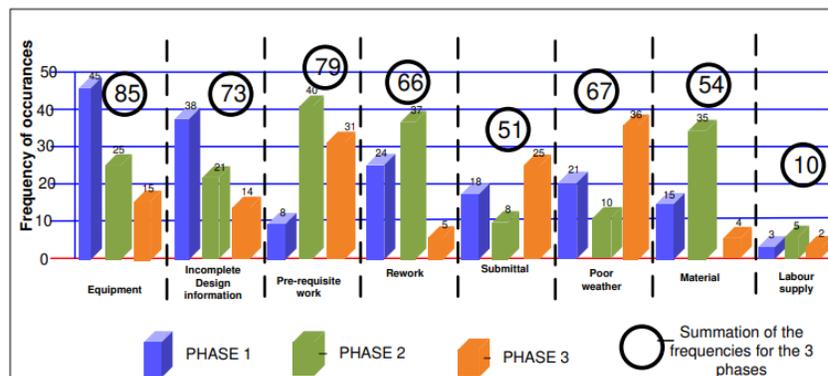


Figura 3.2: Razones del incumplimiento de actividades para las 3 fases. Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

A pesar de obtener una mejoría en los resultados del PPC, también se tuvieron dificultades para la implementación del Last Planner, como lo fueron la falta de supervisión y control de calidad y la resistencia al cambio.

3.2. Perú

Este caso consistió en la construcción de una carretera de 7,1 km de pavimento asfáltico, incluyendo además obras de hormigón, movimiento de tierras y excavación en roca con explosivos. Durante la construcción, se encontraron diversas restricciones externas que causaron variabilidad en la ejecución, como lo fueron las condiciones climáticas, huelgas, posibilidad de encontrar restos arqueológicos y control gubernamental por el uso de explosivos.

Se aplicaron dos herramientas: Análisis del Valor Ganado (EVA) y el Sistema Last Planner (LPS), para el primero se calculó el Índice de Desempeño del Cronograma del Proyecto (SPI) y para el segundo, el Porcentaje de Plan Completado (PPC).

Estas herramientas se aplicaron durante 41 semanas, cuando la construcción se encontraba con un 96.8% de avance. Con los resultados obtenidos se demuestra que cuando existió una mejora en el PPC, también se observó una mejora en el SPI.

Utilizando ambas metodologías, se observó una mejora en las actividades realizadas versus las programadas, teniendo una mayor certeza de los tiempos y en la confiabilidad.

3.3. Otros

En la publicación de Sanchez et al. (2019), se mencionan otros 8 casos:

1. Reino Unido: 3 millas de renovación de calzadas
2. Corea del Sur: Nam Chun Highway Project
3. Corea del Sur: Seoul Ring Road Project
4. Reino Unido: Asfalto en la A1 Dishforth hacia Leeming
5. Reino Unido: Fortalecimiento viaducto M53 Bidston Moss
6. Reino Unido: 28 km Construcción Autovía
7. Reino Unido: Mejora para sustituir la autovía por una autopista de tres carriles
8. Reino Unido: Mejorar la autopista para convertirla en autopista inteligente

Capítulo 4

Entrevistas

4.1. Resultados

En las siguientes secciones se presenta el análisis de las entrevistas realizadas a siete profesionales involucrados con el sistema Last Planner.

4.1.1. Jesús Inciarte

El entrevistado se desempeña actualmente como Ingeniero en Programación, se encarga de gestionar la implementación de Last Planner con supervisores y jefes de terreno. La empresa en que se encuentra no aplica esta herramienta a todos sus contratos, pero en donde se encuentra era requisito tener un encargado con conocimiento en las herramientas de Lean Construction.

Opina que es una herramienta poderosa porque permite evaluar el contrato con una visión de futuro y tomar acciones anticipadamente, a diferencia de lo que se realiza por lo general en la actualidad, en donde solo se dedican a ver el día a día. Ha aplicado Last Planner en contratos inmobiliarios y actualmente se encuentra implementándolo en un contrato multidisciplinario.

Los beneficios que le ha traído implementar Last Planner son principalmente la disminución o eliminación de la incertidumbre, el aprendizaje continuo, dejar de tener pérdidas por productividad y eliminar los riesgos.

Al consultar por las principales dificultades, menciona que es el cambio de cultura y la involucración de la dirección en la implementación de la metodología. Piensa que lo primero, es porque las personas se acostumbran a su forma de trabajar y resulta difícil implementar algo nuevo. Lo segundo, porque piensa que para la implementación del Last Planner, deben estar todos involucrados, partiendo por la dirección.

Finalmente, al preguntar si tiene conocimiento si el Last Planner es aplicado actualmente en carreteras, comenta que en la empresa en que se encuentra trabaja en carreteras pero no ha aplicado el sistema.

4.1.2. Ricardo Méndez

Se desempeña actualmente como Oficina Técnica, específicamente en el área de coordinación de obras y programación a través del Last Planner, lleva 5 años realizando edificación en alturas.

Al consultar por su opinión acerca de esta herramienta, menciona que es el método más eficiente para controlar el programa. Ha aplicado Last Planner solo en edificación en alturas, específicamente en 3 edificios.

Los beneficios que considera más relevantes son el control del desarrollo del contrato y el cumplimiento de los plazos. En cuanto al control, menciona que monitorea incluso a diario el avance comparándolo con el programa, y de esa forma lo que no se está ejecutando se puede corregir a tiempo. Considera que en la práctica el otro beneficio, es que el término del contrato coincide con la fecha estimada que se programó al comienzo.

Para Ricardo, la mayor dificultad al momento de implementar este sistema, es que las personas no siempre entienden lo que se les solicita. Un ejemplo que dio, es que el Last Planner entrega una serie de indicadores de cumplimiento del programa, y como no todos entienden para qué sirven, no surgen las ganas de colaborar ni la disposición de ayudar.

Al consultar si sabe si se aplica Last Planner en carreteras, menciona que no lo tiene claro, pero cree que se puede aplicar perfectamente.

4.1.3. Jorge Villegas

Jorge se desempeña actualmente como Jefe de Control de Proyectos, también llamado Jefe de Planificación. Al preguntar su opinión acerca de Last Planner, comenta que es un sistema que aporta al cumplimiento de metas y a la generación de una trazabilidad en la operación de las obras.

En la empresa en la que se encuentra, han aplicado esta herramienta en obras como hospitales, escuelas, edificios gubernamentales y urbanizaciones de gran alcance. En su experiencia personal, también lo ha aplicado en la construcción de centros comerciales y viviendas en extensión y en altura.

Al consultarle por los beneficios que le ha traído su implementación, menciona que un ordenamiento en la programación de los contratos que se ejecutan, aprender de las estadísticas que obtienen de las obras y la detección de fallas o problemas, lo que les permite poder tomar acciones a tiempo para su corrección.

La mayor dificultad que ha tenido al momento de aplicar esta herramienta, es principalmente la falta de compromiso de los profesionales de los equipos de obra. Comenta que es una situación que se presenta al inicio de los contratos, pero una vez que visualizan el aporte de la herramienta,

pueden mejorar su nivel de compromiso con la implementación.

Luego, al preguntarle si tiene conocimiento si la herramienta es aplicada en carreteras, responde que no lo sabe pero que se puede aplicar, porque el Last Planner es una herramienta transversal aplicable a todo tipo de proyectos.

4.1.4. Sebastián Ponce

Sebastián actualmente es Encargado de Planificación de una empresa, antes también se desempeñó en el mismo cargo en la ruta de la fruta, además realizaba clases de Last Planner en la Universidad Católica de Valparaíso.

Al consultarle su opinión sobre este sistema, comenta que no es un método que se defiende por si solo, para aplicarlo se necesita de una consciencia Lean por parte de los integrantes, ya que esto influye directamente en la aplicación de la herramienta. Hace énfasis en que debe ser por parte de todos los involucrados y no solo de una persona, ya que de esto depende su correcta aplicación.

Menciona también que la gestión del compromiso y la gestión visual son de gran importancia para el buen funcionamiento del sistema. En una obra vial en la que estuvo, hacían reuniones en donde tenían fotos de cada supervisor con su descripción de cargo y su programación de actividades semanales.

Comenta también que en obras viales las restricciones más grandes son dos principalmente: cambio de instalaciones, ya sea eléctricas o sanitarias, y las expropiaciones. Además menciona que en este tipo de contratos, se debe contar con un plan de manejo ambiental y forestal, ya que de esto pueden surgir restricciones que en otro tipos de contrato no.

Al preguntarle en qué contratos ha aplicado esta herramienta, menciona que en edificios en altura, hospitales y rutas, específicamente en la ruta de la fruta.

Los principales beneficios que ha tenido al implementar el Last Planner, son ayudas en el cuadrado de vida de los contratos, que son el tiempo, costo, calidad y seguridad. Enfatiza el caso de obra vial, en donde considera que la seguridad de los trabajadores es lo más importante.

Sebastián considera que la mayor dificultad al momento de la aplicación, es que en equipos grandes no estén alineados y que no tengan integradas las metodologías Lean.

Tiene conocimiento de que actualmente se está aplicando esta metodología en la etapa de diseño de la ruta 78, y que en algún momento lo implementaron en la ruta que une el Canal Chacao con la ruta hacia Castro.

4.1.5. Marcelo Concha

Marcelo actualmente es consultor de proyectos de construcción y minería, principalmente relacionado a la implementación de herramientas Lean. Opina que el sistema Last Planner es de mucha utilidad si es utilizado de buena manera, teniendo el respaldo de la jefatura, pero también cree que en promedio en Chile, no está bien implementado y va decayendo en el tiempo.

Ha implementado esta herramienta en minería, caminos, viviendas y edificación en alturas. En estos contratos, comenta que ha mejorado la comunicación porque hace a la gente involucrada conversar sobre los problemas, oportunidades y compromisos. Además, menciona que se obtienen importantes ahorros en costos, plazos y seguridad.

Al consultarle por las dificultades, responde que una de ellas es que no se aborda a los subcontratos, al ser su participación voluntaria se producen finalmente inasistencias, menciona la importancia de que el sistema se implemente para todo el equipo de trabajo involucrado. Otra dificultad presentada, es la falta de entrenamiento de la herramienta, es decir, se enfocan más en la estructura y dejan de lado la importancia de realizar continuamente capacitaciones. Por último otra dificultad mencionada es la falta de respaldo y convencimiento por parte de los altos mandos.

Tiene conocimiento de que actualmente se ha aplicado en carreteras, teniendo dificultades propias de este tipo de contratos, como por ejemplo la falta de internet en ciertos puntos, lo cual dificulta las reuniones semanales.

4.1.6. Luna Álvarez

Luna trabaja actualmente como jefa de proyectos en una empresa dedicada a asesorías de implementación de Last Planner. Antes se desempeñó como ingeniera de proyectos en la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT.

Le gusta este sistema porque da un mejor orden y hace que las personas involucradas se comprometan más con la programación. Ha implementado este sistema en contratos de edificación, viviendas en extensión, minería y vialidad.

Al consultarle por los beneficios, menciona que ayuda en la colaboración del equipo de trabajo, ayuda a realizar programaciones más realistas y confiables, hay una mejora continua, ya que al analizar las causas de incumplimiento, se va mejorando en los trabajos y detectando las soluciones con anticipación.

Las principales dificultades que ha identificado son la resistencia al cambio del equipo y la falta de compromiso de la jefatura. Comenta que la implementación funciona mejor cuando todos están comprometidos en aplicar esta nueva herramienta, y para que eso ocurra, la jefatura debe estar alineada buscando el mismo objetivo. Además menciona que se suele creer que las personas de

terreno son una dificultad al momento de implementar la herramienta, pero que en realidad no es así porque se comprometen, aportan y participan cuando se les solicita.

Tiene conocimiento de que se ha aplicado Last Planner en la construcción de carreteras, cuando trabajaba en la CDT se presentó un contrato de ese tipo, pero no sabe si se aplica actualmente en más contratos de carreteras.

4.1.7. Nicolás Salinas

Nicolás trabaja actualmente como líder de un equipo de consultores, dedicado a implementar metodologías Lean en distintas empresas. Está a cargo del equipo que despliega los servicios y él los apoya en temas de diseño, implementación y soporte de los servicios.

Opina que es una herramienta espectacular de utilidad para la gestión de proyectos. Mejora la colaboración, el trabajo en equipo y la transparencia, soluciona problemas existentes en la actualidad como son la falta de organización y programación.

Ha aplicado este sistema en empresas dedicadas a diversas áreas, como aeropuertos, puertos, industrias de la energía, construcción y del sector bancario. Cree fundamental el acompañamiento en la implementación de este sistema para su correcto funcionamiento.

Dentro de sus aplicaciones, considera que los principales beneficios son el cumplimiento de plazos y costos, trabajo más colaborativo, mejora del clima laboral y mejora la comunicación. Por otro lado, la mayor dificultad es la cultura existente, la cual se basa principalmente en la ansiedad de partir rápido los trabajos sin programar y apresurando sin tener los recursos necesarios.

Al preguntarle si tiene conocimiento de la aplicación de esta herramienta en carreteras, responde que tuvieron clientes con ese tipo de contrato. En la actualidad, están haciendo entrenamientos a una empresa relacionada con asfaltos, pero no está ligado directamente a la construcción de carreteras, si no que la implementación es a los ejecutivos de su oficina central.

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Tablas comparativas

En esta sección, se observan tablas realizadas a partir de las respuestas recopiladas en las entrevistas. Estas se presentan con el objetivo de tener una representación visual más clara de la información, para permitir comparar los comentarios de cada entrevistado.

En la tabla 4.1, se observa el nombre de cada entrevistado y el tipo de contratos en donde han aplicado el sistema Last Planner.

Tabla 4.1: Comparación de aplicaciones de Last Planner. Fuente: Elaboración propia.

Entrevistado	Aplicaciones de Last Planner
Jesús Inciarte	Inmobiliaria, proyecto multidisciplinario
Ricardo Méndez	Edificación en alturas
Jorge Villegas	Hospitales, escuelas, edificios gubernamentales, urbanizaciones, centros comerciales, viviendas en extensión y en altura.
Sebastián Ponce	Edificios en altura, hospitales y rutas.
Marcelo Concha	Minería, caminos, edificación en extensión y en altura.
Luna Álvarez	Edificación, viviendas en extensión, obras civiles en minería y vialidad en un centro comercial.
Nicolás Salinas	Sector tecnológico, oficinas de ingeniería, contratos que tienen que ver con gestión sobre muchos proyectos, obras viales.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que resume las respuestas recopiladas de los entrevistados, específicamente de los beneficios y dificultades que han tenido al aplicar este sistema (tabla 4.2).

Tabla 4.2: Comparación de beneficios y dificultades. Fuente: Elaboración propia.

Entrevistado	Beneficios	Dificultades
Jesús Inciarte	Disminución incertidumbre, aprendizaje continuo, quitar pérdidas por productividad y eliminación de riesgos.	Cambio de cultura y falta de involucración de la dirección.
Ricardo Méndez	Control preciso en el desarrollo del proyecto y cumplimiento de plazos.	Poco entendimiento de lo que se solicita, lo que produce falta de colaboración y disposición de ayudar.
Jorge Villegas	Ordenamiento en la programación, detección de fallas a tiempo y mirar las estadísticas detrás de las obras.	Falta de compromiso de los profesionales pertenecientes a los equipos de obra.
Sebastián Ponce	Ayuda en tiempo, costo, calidad y seguridad de los trabajos.	Falta de alineación en los equipos con la aplicación del sistema.
Marcelo Concha	Mejoramiento de la comunicación, ahorro en costos, plazos y seguridad.	Falta de participación de subcontratos, poco entrenamiento y falta de respaldo y convencimiento de la gerencia y mandos altos.
Luna Álvarez	Colaboración del equipo y mejora continua.	Resistencia al cambio y falta de alineación de las jefaturas.
Nicolás Salinas	Mejora del clima laboral, mejora de la comunicación, disminución de la variabilidad, cumplimiento de plazos y costos, trabajo colaborativo.	Cultura chilena, basada en la ansiedad de partir rápido, no programar y apresurar aún sin tener los recursos necesarios.

4.2.2. Análisis general

Tras analizar las entrevistas realizadas a los distintos profesionales, se procede a realizar un análisis general de sus respuestas. Todos los entrevistados coinciden en que es una herramienta de utilidad y que les ha traído distintos beneficios en los contratos implementados con Last Planner.

La mayoría ha aplicado esta herramienta en la construcción de edificación en alturas, además de diversos tipos de contratos como lo son la construcción de hospitales, escuelas, edificios gubernamentales, viviendas en extensión y minería. Un profesional entrevistado, Nicolás Salinas, dedicado a consultorías, no solo implementa este sistema en construcción, sino que también en aeropuertos, puertos, industrias de la energía y sector bancario. Tres entrevistados han tenido experiencia con Last Planner en rutas y los otros no, pero opinan que no hay impedimentos para su implementación en este tipo de contrato de construcción.

Sebastián Ponce aplicó Last Planner en la Ruta de la Fruta, la cual se encuentra actualmente en construcción. Menciona que las restricciones más grandes que se tienen en una obra vial son el cambio de instalaciones y las expropiaciones, además que en esa ruta en particular, la seguridad de los trabajadores es lo más importante ya que se tiene un flujo vehicular constante en simultáneo con la ejecución de trabajos, debido a que no es una ruta nueva, sino que es el ensanchamiento de una existente.

En cuanto a los beneficios expuestos en las entrevistas, lo más nombrado fue el cumplimiento de plazos, lo cual se produce gracias al control que se realiza semana a semana de las tareas programadas y de las tareas que se analizan con anticipación para eliminar sus restricciones y evitar retrasos por esos motivos. Esto además, se debe producir bajo una comunicación fluida y colaboración del equipo involucrado, el cual fue otro beneficio nombrado por tres entrevistados.

La eliminación de pérdidas o ahorro en costos, es una consecuencia de llevar un buen control de lo programado, ya que al terminar el contrato según lo previsto, se evitan más costos como por ejemplo, gastos generales. Además, al cumplir los plazos se evitan costos por retrasos, por lo cual también contribuye a evitar multas por este motivo.

De las dificultades nombradas por los entrevistados, se distinguen principalmente tres: falta de compromiso de la dirección o jefaturas, falta de participación de los subcontratos y la cultura actual.

En cuanto a la falta de compromiso de la dirección, es necesario que estén comprometidos con su implementación para que el sistema funcione correctamente, ya que si los equipos ven que la jefatura no está realmente convencida, difícilmente ellos lo estarán ya que no tienen el ejemplo. Para que el sistema funcione de manera óptima, las jefaturas deben tener el conocimiento necesario de esta herramienta, tener capacitaciones y conocer los beneficios que trae su implementación, de esta forma el personal también se comprometerá con el fin de cumplir los mismos objetivos.

Con respecto a la participación de los subcontratos, resulta fundamental que también implementen esta herramienta para que el sistema funcione de manera correcta, ya que forman parte y están involucrados directamente con las actividades de terreno. El no incluir a todo el personal relacionado, causará que la implementación del sistema tenga una mayor dificultad y puede causar que no se cumplan los objetivos programados.

En relación a la cultura actual, se mencionó que las personas están acostumbradas a realizar las cosas como siempre lo han hecho, por lo que se dificulta implementar una nueva herramienta. Además, se comentó que la cultura chilena está muy basada en apurar los trabajos aún sin tener lo necesario para realizarlos, por lo tanto, no se realiza una correcta programación de los trabajos, sino que se busca partir con ellos lo antes posible sin realizar un previo análisis de sus restricciones.

En dos entrevistas se tuvieron respuestas contrarias con respecto al comportamiento de los equipos de obra. En una de ellas, se mencionó que ha tenido dificultades para implementar la herramienta por la falta de compromiso de los profesionales de obra, lo cual ocurre al inicio del contrato y cambia una vez se dan cuenta de los beneficios de la herramienta. Por el contrario en la otra, la entrevistada comentó que se suele creer que la gente de terreno es la más difícil pero que en realidad no es así, que se comprometen, se adaptan y participan en lo que se les solicita. Debido a estas respuestas, no es posible sacar una conclusión certera del comportamiento de los equipos de terreno, ya que varía dependiendo de la obra y de las personas.

Capítulo 5

Propuesta de implementación

5.1. Propuesta de implementación

5.1.1. Definición de la propuesta

Con la información recopilada de las entrevistas, la bibliografía estudiada y el ejemplo de carretera propuesto, se procede a realizar una propuesta para la implementación del sistema Last Planner en la construcción de carreteras.

5.1.2. Propuesta

La propuesta se comprende de 3 fases, las cuales se muestran a continuación:

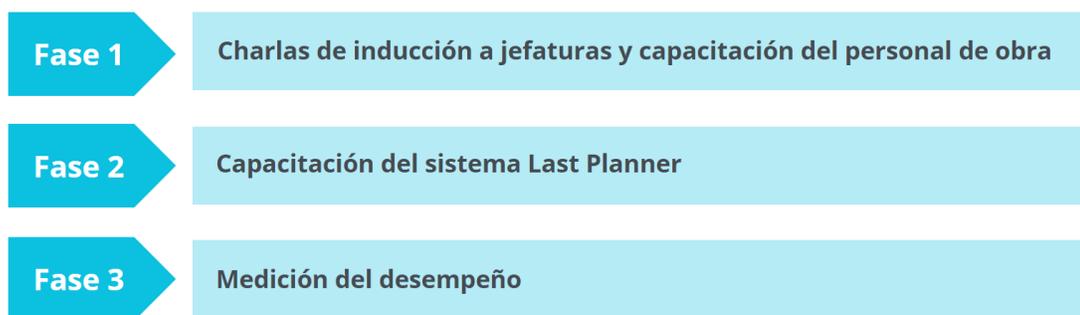


Figura 5.1: Esquema fases de implementación Last Planner. Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Fase 1: Charlas de inducción a jefaturas y capacitación del personal de obra

5.1.3.1. Charlas de inducción a jefaturas

Antes de mostrar los beneficios de esta herramienta, se deberá intentar mostrar y convencer a los profesionales superiores de la empresa y de las obras, para que autoricen una vez conocidos los beneficios su aplicación en los contratos en desarrollo o por desarrollar.

Se propone realizar una charla a nivel de la empresa con los superiores que ellos escojan y también a los responsables de cada contrato.

También se propondrá que para asegurarse en su aplicación, es recomendable que para cada contrato, el grupo de Last Planner sea acompañado por profesionales experimentados en su aplicación, en otras palabras, contar con asesores expertos en la herramienta.

5.1.3.2. Capacitación al personal de obra

Estas capacitaciones se realizan al personal de obra que se relaciona con el avance físico de las obras.

Antes de la aplicación de Last Planner en obra, se propone realizar capacitaciones al personal que se relacionará con la implementación del sistema. Esto debe incluir a supervisores, jefes de obra, jefes de terreno, oficina técnica, administrador de obra y subcontratos.

Esta capacitación debe incluir información general acerca del "Lean Construction" como fundamento de estos mejoramientos que se proponen y acerca de la mejora continua. Además dar a conocer que estas herramientas permiten mejorar los resultados, tanto en costo como en plazo en los contratos.

Por su parte la metodología del Last Planner, se explicará en forma detallada en un taller especialmente preparado para ver su aplicación. Complementariamente se dará a conocer cómo se medirá el desempeño de su aplicación.

5.1.4. Fase 2: Capacitación del sistema Last Planner

La aplicación consta de los siguientes puntos principales:

- **Asesorías:** En la propuesta se considera la existencia de asesorías con personas expertas en la implementación de Last Planner. Se plantea el acompañamiento continuo de asesores a lo largo del desarrollo del contrato, teniendo su presencia en las reuniones que se realizan en cada tramo. Esto traerá como beneficio la eficiencia en cada reunión mejorando la programación y control de las tareas.
- **Reunión inicial:** En esta se conoce al personal que participará de las reuniones semanales y se establecen las responsabilidades y funciones de cada uno. En otras palabras, se debe definir claramente el cronograma para llevar a cabo los trabajos de la manera más óptima.
- **Programación intermedia:** Una vez finalizadas las capacitaciones y charlas al personal de obra, se procede a la aplicación del sistema. De acuerdo a la duración obtenida en el cronograma, se establece un lookahead de 6 semanas, es decir, revisar las actividades que se realizarán durante ese plazo para liberar sus restricciones. Una vez definidas, se determina al responsable de liberarlas para ejecutar las actividades correctamente sin afectar el programa.

- **Independencia de tramos:** A diferencia de las aplicaciones usuales de Last Planner en donde en las reuniones deben estar todos los involucrados en la implementación del Last Planner presentes en la obra, acá se plantea que se deben separar según los tramos establecidos en el ejemplo. En otras palabras, se considera la aplicación del Last Planner por separado en cada tramo, por lo tanto las reuniones también se realizarán por tramo.
- **Temas a tratar en las reuniones:** Semanalmente se debe revisar el acta de la reunión anterior, el porcentaje del plan completado de la semana anterior y las causas de no cumplimiento de las tareas programadas. De las tareas que no se pudieron completar, se debe definir qué se realizará con cada una, si es posible realizarla en la semana o si es necesario reprogramar. Se deben chequear y definir las actividades a realizar en la semana. Además se revisan las restricciones de las tareas próximas según el lookahead definido y otros comentarios que se consideren relevantes durante lo ocurrido durante la semana.
- **Duración de reuniones e involucrados:** La duración de las reuniones no debe ser mayor a 1 hora 30 minutos, para no interferir en las actividades programadas para el día. Las personas que deben asistir a estas reuniones deben ser las involucradas directamente con las actividades, es decir, administrador de obra, oficina técnica, encargado de calidad, jefe de terreno, jefe de obra y supervisores.
- **Subcontratos:** La participación de los subcontratos en la implementación del sistema resulta fundamental. Por este motivo, cada subcontrato que se necesite a lo largo de la construcción de la carretera, tendrá explicitado en su contrato con la constructora que debe aplicar Last Planner. Las jefaturas de los subcontratos también deben incluirse en las charlas y capacitaciones.
- **Presencialidad:** Las reuniones semanales se realizarán de manera presencial, en un punto acordado de tal manera que resulte lo más cómodo para el personal. Al realizarlas de forma presencial, se elimina el problema que pueda existir por la falta de internet o falta de señal en ciertos puntos, y hace que la reunión sea más fluida con los puntos que se deban informar.

5.1.5. Fase 3: Medición del desempeño

En las reuniones semanales se analizará el porcentaje del plan completado, PPC, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{PPC} = \frac{\text{Tareas programadas}}{\text{Tareas completadas}} [\%]$$

En la tabla 5.1 se observa el formato a utilizar para el cálculo del PPC, según la presente propuesta.

Tabla 5.1: Formato de tabla para el porcentaje de plan completado.

Semana	Nº tareas completadas	Nº tareas incompletas	Nº total tareas	PPC
1				
2				
3				
...				
72				

El PPC se analizará por tramos, tal como se ve en la tabla 5.1. Además para visualizar de mejor forma y comparar los tramos de manera general, se realizará un gráfico con los datos de los 3 tramos del ejemplo. En el eje de abscisas el número de la semana, en el eje de las ordenadas el porcentaje, y las 3 líneas respectivas de los tramos.

Con los resultados de la tabla y el gráfico, se puede analizar la tendencia del porcentaje de cumplimiento de las tareas, para revisar la efectividad en la aplicación del sistema Last Planner y tomar acciones para mejorar.

Además se deben medir y conocer las causas de no cumplimiento, CNC. Estas de acuerdo al tipo de contrato, pueden ser: mala programación de los trabajos, planos defectuosos, problemas con subcontratos, problemas con proveedores, falla en maquinarias, mala estimación del rendimiento de las maquinarias, mala ejecución del trabajo, indefinición o cambios en el contrato y malas condiciones climáticas.

En la tabla 5.2 se observa el formato de tabla para obtener el porcentaje de las causas de no cumplimiento, en donde se debe identificar el origen del no cumplimiento y la frecuencia.

En la columna de origen de no cumplimiento, se debe rellenar con interno o externo. Si el origen es interno, se refiere a que las tareas no se pudieron ejecutar debido a motivos que dependen de la constructora, en cambio si el origen es externo, estos motivos no dependen de la constructora.

Una vez identificadas las causas, se revisa su frecuencia y se calcula el porcentaje de incidencia de estas con respecto a la suma total de frecuencias.

Tabla 5.2: Formato de tabla para las causas de no cumplimiento.

Causa de no cumplimiento	Origen no cumplimiento	Frecuencia	Porcentaje
Mala programación			
Planos defectuosos			
Problemas con subcontratos			
Problemas con proveedores			
Fallas en maquinarias			
Mala estimación del rendimiento maquinarias			
Mala ejecución del trabajo			
Indefinición o cambios en el contrato			
Malas condiciones climáticas			
Total			

Finalmente, teniendo el PPC y las CNC, se pueden tomar acciones en las reuniones semanales para mejorar estos indicadores en las siguientes semanas.

5.2. Ejemplo de carretera

A partir de la propuesta, para realizar una mejor representación de cómo se puede aplicar el Last Planner, en este capítulo se presenta un ejemplo el cual incluye los diagramas tipo y su cronograma. En la figura 5.2, se puede observar un camino con sus respectivos términos. Para el ejemplo a utilizar en la presente memoria, se supondrá que la carretera tendrá un tramo con talud de corte, uno con talud de relleno (terraplén) y uno al nivel requerido.

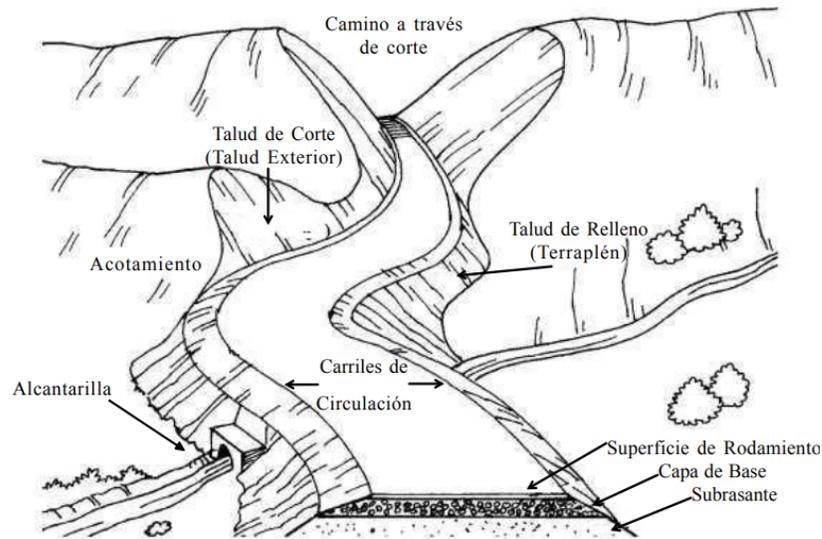


Figura 5.2: Términos utilizados para definir los caminos. Fuente: Keller G. y She-rar J. (2004). Ingeniería de caminos rurales.

5.2.1. Componentes principales

En primer lugar, se da un diagrama tipo para tener una representación visual del ejemplo a exponer en este capítulo, el cual se puede observar en la figura 5.3. En este, se observan los 3 tramos descritos anteriormente con sus respectivas dimensiones.

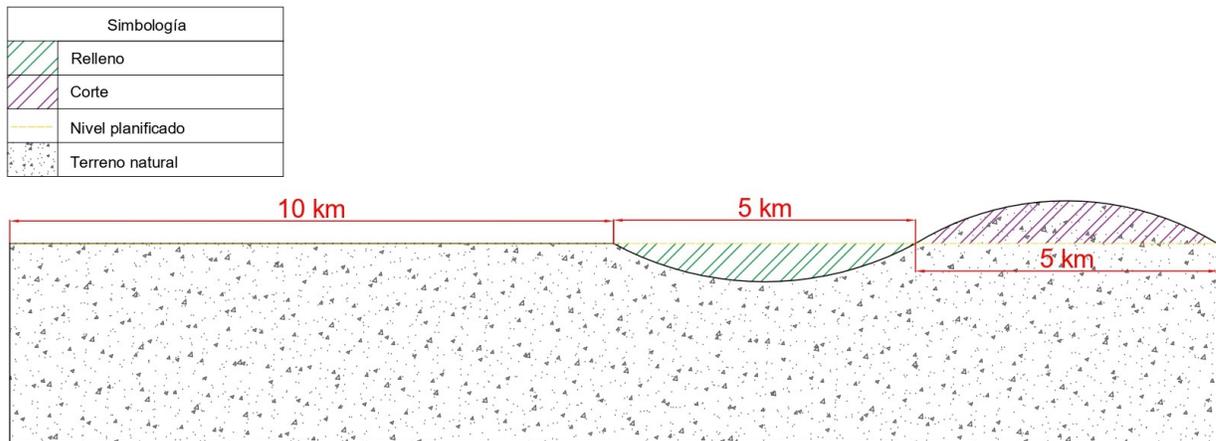


Figura 5.3: Diagrama carretera. Fuente: Elaboración propia.

La carretera posee una extensión total de 20 kilómetros y el recubrimiento de esta obra vial, será pavimento de hormigón.

Para el cálculo de los tiempos requeridos para las actividades, se deben realizar supuestos relacionados con las dimensiones de esta ruta. Como se puede observar en la figura 5.3, el camino posee 10 kilómetros que están al nivel de lo requerido, 5 kilómetros los cuales se deben rellenar y 5 kilómetros a los que se les debe realizar corte para alcanzar el nivel propuesto. A continuación se describen las partes que se incluirán en esta carretera:

- **Calzada:** Se consideran cuatro calzadas unidireccionales, siendo 2 establecidas en un sentido y las otras 2 en el sentido opuesto.
- **Ancho pistas:** Cada pista tiene un ancho de 3.5 [m], siendo un total de 4 pistas.
- **Ancho bermas:** Se considera un ancho de berma de 2 [m] por los costados exteriores.
- **Mediana:** Corresponde al área que separa las pistas en sentidos opuestos en carreteras, en este caso se considera de una dimensión de 2 [m].
- **Ancho total de la plataforma:** El ancho total lo da la suma de las componentes mencionadas anteriormente, es decir, las 4 pistas, las 2 bermas y la mediana, da un total de 20 [m].

5.2.2. Diagramas explicativos

En la figura 5.4, se muestra un corte transversal de la carretera tipo establecida para la sección de relleno, en donde se observan las dimensiones y las capas que se instalarán para la construcción de

las pistas. En cuanto a las capas que componen esta carretera, se encuentra el relleno, la sub-base, la base granular y el pavimento de hormigón.

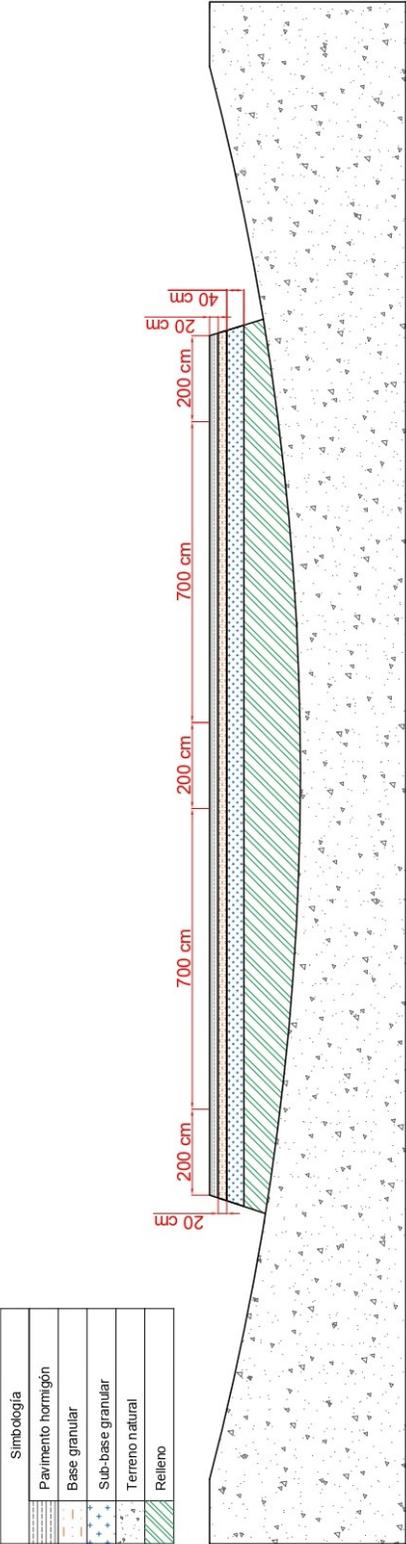


Figura 5.4: Diagrama transversal carretera para la sección de relleno. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.5, se observa el corte transversal para el siguiente tramo.

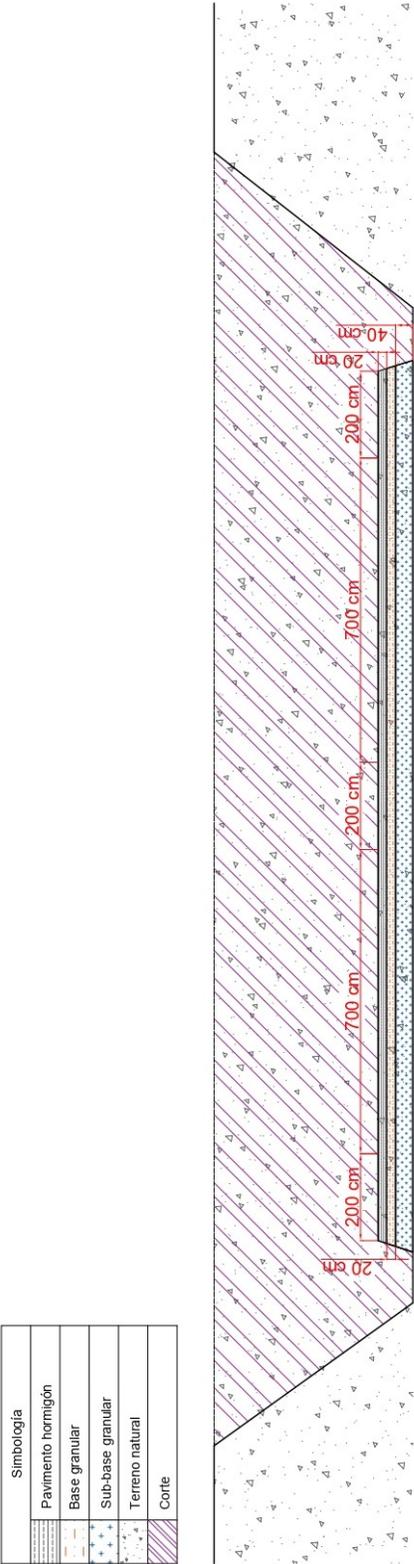


Figura 5.5: Diagrama transversal carretera para la sección de corte. Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Volúmenes

Con los supuestos descritos, se realizan los cálculos de volumen requeridos para la estimación del tiempo que se requerirá para cada actividad. En la tabla 5.3, se observa la cantidad de metros cúbicos que se requerirán de sub-base, base y hormigón para la extensión total de la carretera, es decir, los 20 [km] establecidos.

Tabla 5.3: Cantidades de material requeridas.

Material	Cantidad [m3]
Sub-base granular	160000
Base granular	80000
Pavimento hormigón	80000

A partir de los diagramas de las figuras 5.4 y 5.5, se establece el volumen de relleno y corte, los cuales se muestran en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Volúmenes de corte y relleno.

Volumen	Cantidad [m3]
Relleno	106317,5
Corte	600062,5

Para la realización del cronograma, se da el supuesto que se comienza a trabajar por dos frentes, es decir, de izquierda a derecha se comienza con el terreno que está al nivel requerido y de derecha a izquierda se trabaja con el terreno que requiere corte. Además se define como:

- **Tramo 1:** 10 kilómetros
- **Tramo 2:** 5 kilómetros de relleno
- **Tramo 3:** 5 kilómetros de corte

Esto se puede observar de mejor forma en el diagrama de la figura 5.6.

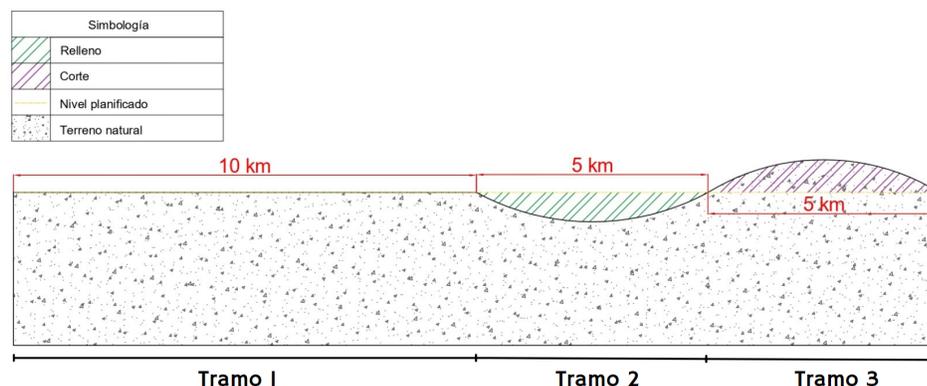


Figura 5.6: Diagrama carretera con tramos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.4. Maquinaria

Las maquinarias a considerar para la obtención de los tiempos de las actividades, son las siguientes:

1. Excavadora hidráulica CAT 336D2 L
2. Motoniveladora CAT 140M3
3. Rodillo compactador CAT CS54B

En la construcción de una carretera se utilizan otras maquinarias como lo pueden ser la retroexcavadora, bulldozer y camiones tolva y aljibe, pero para la obtención de tiempos se considerarán las 3 principales: excavadora, motoniveladora y rodillo. Para la colocación del hormigón, por la norma NCh170, se considera que el volumen del hormigón se debe colocar en un plazo no mayor a 30 minutos, además se consideran camiones de 7 $[m^3]$.

5.2.4.1. Excavadora hidráulica CAT 336D2 L

Su rendimiento y especificaciones se obtienen del Manual de Rendimientos Caterpillar del año 2016. Las características a utilizar son las que se detallan a continuación, el factor se considera realizando el supuesto que se trabaja en arena y grava.

- Capacidad cucharón = 2.2 $[m^3]$
- Factor de llenado = 0.95
- Carga útil cucharón = Capacidad cucharón · Factor de llenado = 2.09 $[m^3]$
- Tiempo de ciclo = 30 [seg]

Por lo tanto, de la tabla C.3 se obtiene que el rendimiento corresponde a:

$$\text{Rendimiento excavadora} = 252 \text{ } [m^3/h]$$

5.2.4.2. Motoniveladora CAT 140M3

El rendimiento de una motoniveladora se calcula con la siguiente expresión, de acuerdo al Manual de Rendimientos Caterpillar (2016):

$$\text{Rendimiento } [m^2/h] = A = S \cdot (L_e - L_o) \cdot 1000 \cdot E$$

Donde:

A: Área de operación horaria $[m^2/h]$

S: Velocidad de operación $[km/h]$

L_e : Longitud efectiva de hoja $[m]$

L_o : Ancho de superposición $[m]$

E: Eficacia de trabajo $[\%]$

- **Velocidad de operación:** Debido a que se trata de la construcción de una carretera nueva, se considera trabajo pesado con la hoja. De acuerdo a la tabla C.5, las velocidades de operación oscilan entre los 0 y 9 [km/h], por lo tanto se decide escoger un valor de 5 [km/h].
- **Longitud efectiva de la hoja:** De la tabla C.4, se obtiene la longitud estándar de la hoja, la cual corresponde a 3.658 [m]. De la tabla observada en la figura C.6, se tiene la longitud efectiva realizando el supuesto de que el ángulo de la hoja es 30°. De esta forma la longitud efectiva, L_e , es igual a 3.17 [m].
- **Ángulo de superposición:** Según la publicación “La superposición es para mantener los neumáticos fuera de los camellones en la pasada de retorno”, mencionado en la memoria de González Lafferriere Javier, para este modelo se considera 0.6 [m].
- **Eficacia de trabajo:** Se considerará un 75 %.

Reemplazando los valores mencionados anteriormente, se obtiene que el rendimiento es:

$$\text{Rendimiento motoniveladora} = 9637.5 [m^2/h]$$

5.2.4.3. Rodillo compactador CAT CS54B

De acuerdo a la tabla C.7, del Manual de Rendimientos Caterpillar (2016), se tiene que para el modelo CAT CS54B, considerando los cálculos de producción para base de caminos, el rendimiento es de:

$$\text{Rendimiento rodillo} = 299 [m^3/h]$$

Se decide escoger un rodillo liso debido a que se suelen utilizar para obras viales y en materiales granulares, como lo serán la base y sub-base del ejemplo propuesto. Se realiza el supuesto que se compacta la sub-base en dos capas y la base en una sola.

5.2.5. Cronograma

A partir de las secciones anteriores, se realiza el cálculo de los tiempos de las principales actividades para tener un cronograma tipo y en base a este, realizar la propuesta de implementación del sistema Last Planner. En base a lo anterior, se presentan dos cronogramas, en donde se diferencian por frente 1 y frente 2. El frente 1 corresponde a los trabajos del tramo 1 y el frente 2 agrupa el tramo 2 y 3.

Los cronogramas realizados se observan en las figuras 5.7 y 5.8.

En estos, se puede observar que los ítem están divididos por tramos, se tendrán dos frentes de trabajo. El frente 1 incluye los siguientes trabajos del tramo 1: preparación de la subrasante, colocación de geosintéticos, colocación y compactación de sub-base y base granular y finalmente el hormigonado. El frente 2 abarca el tramo de corte y terraplén, se trabajará de la siguiente forma: una vez se esté finalizando la excavación (corte), se comienza la preparación de la subrasante y el relleno (terraplén) del tramo 2 con el material retirado del corte del tramo 3. Luego se realiza la colocación de los geosintéticos y se prosigue con la colocación y compactación de las capas granulares, finalmente se realiza el hormigonado de los tramos.

Los cronogramas presentados también forman parte de la propuesta, en donde se separan las actividades por tramos para que se realice el proceso de implementación de Last Planner de manera independiente.

En caso de existir por ejemplo un puente u otro elemento distinto a los mencionados, este será considerado como otro tramo y por lo tanto, se considera por separado para la implementación del Last Planner y sus respectivas reuniones.

Capítulo 6

Conclusiones

Conclusiones generales

Las actividades en la industria de la construcción suelen enfrentar dificultades para cumplir con los plazos programados, como se evidencia en la bibliografía y entrevistas realizadas, lo cual se puede mejorar al implementar la herramienta Last Planner. En la presente memoria se realiza el estudio de su implementación en contratos de carreteras.

A lo largo de este trabajo de título, se logró satisfactoriamente alcanzar el objetivo principal, que consistía en la formulación de una propuesta para la implementación del sistema Last Planner en contratos de construcción de carreteras.

No es usual la aplicación de esta herramienta en carreteras debido a la naturaleza lineal de su programación. Pero tal como se puede observar a lo largo de la memoria, no hay impedimentos en su aplicación. Esto además se respalda en las respuestas obtenidas de los entrevistados, los cuales coincidían en que no existe impedimento alguno.

En la propuesta de este trabajo, se considera la implementación independiente por tramos, lo cual aporta a un mayor orden en cuanto a lo que se está ejecutando y optimiza los tiempos de las reuniones, facilitando la comunicación entre el personal.

Las entrevistas destacan que el Last Planner conlleva beneficios considerables, particularmente en lo que respecta a la gestión de costos y la mejora del cumplimiento de plazos.

En Chile, se tiene una cultura y costumbres establecidas en relación a cómo se trabaja en el rubro de la construcción. Por este motivo, se dificulta la aplicación del sistema Last Planner, pero tal como se especificó en la propuesta de implementación, existen formas de dar a conocer la herramienta y sus beneficios para generar un cambio y la motivación de aplicar nuevos sistemas de programación, como lo son las capacitaciones, charlas informativas y el asesoramiento de expertos en la implementación de la herramienta.

Beneficios y dificultades de aplicar Last Planner en carreteras

Los principales beneficios de aplicar esta herramienta en carreteras, es que la mejora en el cumplimiento de plazos de ejecución de las actividades, lo que a su vez disminuye el riesgo de tener alzas en los costos asociados a multas y gastos generales.

En cuanto a las dificultades que pueden existir al aplicar el Last Planner en la construcción de carreteras, la principal puede darse debido a la costumbre de realizar las cosas como siempre las han realizado, en otras palabras, la resistencia al cambio. Pero esto se puede evitar entregando la información necesaria del Last Planner para dar a conocer sus beneficios.

Recomendaciones y propuesta de futuras investigaciones

Para una implementación efectiva del sistema, se recomienda seguir cada proceso de la herramienta con el acompañamiento de expertos. La inclusión activa del personal propio y los subcontratistas se presenta como esencial, reconociendo a todos como parte integral del equipo de trabajo en la construcción de carreteras.

Finalmente, para futuros estudios se sugiere implementar efectivamente el Last Planner en un contrato de carreteras siguiendo las fases de la propuesta de implementación expuesta en el desarrollo de la presente memoria y analizando de mejor forma la situación en terreno.

Bibliografía

- [1] Ahiakwo Ograbe, Oloke David, Suresh Subashini and Khatib Jamal. **Implementing The Last Planner System in a road construction project in Nigeria**. Built Environment Journal, 2015.
- [2] Ballard, Glenn. **The Last Planner**. Northern California Construction Institute, Monterrey, CA, abril 1994.
- [3] Ballard, Glenn and Howell, Gregory. **Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow**. Segunda conferencia anual de Lean Construction, Santiago de Chile, septiembre 1994.
- [4] Ballard, Glenn. **The Last Planner System of Production Control**. The University of Birmingham, Estados Unidos, 2000.
- [5] Botero, Luis y Álvarez, Martha. **Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción**. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2005.
- [6] Campero, Mario y Alarcón, Luis. **Administración de Proyectos Civiles**. Tercera edición, Ediciones Universidad Católica de Chile, 2008.
- [7] Caterpillar. **Manual de rendimiento Caterpillar**. Edición 46, Illinois, EEUU, enero 2016.
- [8] Comisión Nacional de Productividad. **“Productividad en el sector de la construcción, resumen de hallazgos y recomendaciones”**, noviembre 2020.
- [9] Garcia, Monica y Amador, Antonio. **Cómo aplicar Value Stream Mapping (VSM)**. Glosas de innovación aplicadas a la pyme, 2019.
- [10] González Lafferriere, Javier Osvaldo. **Proposición de estudio de precios unitarios de partidas de presupuesto de carreteras**. Memoria Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2022.
- [11] González Muñoz, Miguel Ángel. **Análisis del impacto en la productividad de diferentes proyectos de construcción a través de la implementación del sistema Last Planner evaluado mediante un sistema basado en indicadores**. Memoria Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, agosto 2012.
- [12] Ibáñez Valenzuela, Felipe Ignacio. **Análisis y definición de estrategias para la implementación de las herramientas del Lean Construction en Chile**. Memoria Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, agosto 2018.
- [13] Richard D., Pizarro R., Soto E. y Catalán A. **Sector construcción, subsector de caminos y carreteras. Mapa de Procesos y ruta de aprendizaje**. Elaborado por Innovum Fundación

Chile.

- [14] Keller G. y Sherar J. **Ingeniería de caminos rurales**. México, septiembre 2004.
- [15] Koskela, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical report N°72, Stanford University, septiembre 1992.
- [16] Olano Ricardo, Alarcón Luis and Rázuri Carlos. **Understanding the relationship between planning reliability and schedule performance: a case study**. 17^o Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2017.
- [17] Pheng, Low Sui and Shang, Gao. **The application of the Just-in-Time philosophy in Chinese Construction Industry**. Journal of Construction in Developing Countries, 2011.
- [18] Salem O., Solomon J., Genaidy A. and Luegring M. **Site Implementation and Assessment of Lean Construction Techniques**. Lean Construction Journal, octubre 2005.
- [19] Sanchez Omar, Castañeda Karen, Herrera Rodrigo and Pellicer Eugenio. **Benefits of Last Planner System in mitigation of delay causes in road infrastructure projects**. Encuentro latinoamericano de gestión y economía de la construcción, octubre 2019.
- [20] Serpell, Alfredo y Alarcón, Luis. **Planificación y Control de Proyectos**. Ediciones Universidad Católica de Chile, 2000.
- [21] Tezel Algan, Koskela Lauri, Tzortzopoulos Patricia, Torres Carlos and Alves Thais. **Visual Management in Brazilian Construction Companies: Taxonomy and Guidelines for Implementation**. Journal of Management in Engineering, 2015.

Anexo A

Casos de aplicación Last Planner en el mundo

A.1. Nigeria

Este caso de aplicación del sistema Last Planner, se expone en la publicación de Ahiakwo et al. (2015). Para contextualizar, Nigeria posee una red de carreteras estimada de 200.000 kilómetros, que conecta distintos pueblos y ciudades, ocupa el primer lugar en términos de red de carreteras en comparación a otros países de África.

El proyecto implicó la construcción de una carretera de 4 kilómetros con acera a ambos lados y un puente de 80 metros de luz. El segmento de la carretera implicó estudios de prellenado, limpieza, rellenos, compactación y escarificación, imprimación y asfaltado. El tramo del puente, implicó muros de contención, estribos, obras de control de erosión y pilotes.

Se implementó el sistema Last Planner en tres fases:

- Fase 1: Limpieza y movimiento de tierras
- Fase 2: Nivelación y capas granulares
- Fase 3: Imprimación y asfaltado

Al final de cada fase, se realizó una comparación y revisión de la implementación. Durante la implementación, se utilizó el cronograma y cuadro de análisis de restricciones para permitir la anticipación de las necesidades futuras de materiales, equipos y mano de obra. Gracias a esto, se aseguraron de que las tareas estuvieran listas para comenzar cuando fuera necesario con la certeza de los requisitos.

Los cuadros del Porcentaje de Plan Completado, PPC, y los motivos de no cumplimiento se utilizaron durante todo el proceso de implementación del sistema. Estos motivos se subdividieron en

8 categorías: contrato, diseños, presentaciones y documentación, operaciones, equipos, mano de obra, clima y materiales.

A.1.1. Fase 1

Se midió un PPC semanal de 8 semanas, el cual se observa a continuación (tabla A.1):

Tabla A.1: Comparación 8 semanas de PPC (19/11/12 - 21/01/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

Fecha de inicio semana	Nº tareas completadas	Nº tareas incompletas	Total actividades/tareas	PPC
19/11/2012	5	6	11	45 %
26/11/2012	8	6	14	57 %
03/12/2012	10	4	14	71 %
10/12/2012	9	6	15	60 %
17/12/2012	8	3	11	72 %
07/01/2013	8	2	10	80 %
14/01/2013	6	1	7	86 %
21/01/2013	6	2	8	75 %
Total	60	30	90	67 %

De la revisión del proceso de implementación, se observó que la participación de todas las partes fue crucial para el éxito en la implementación. En el caso de las tareas incompletas, se analizaron y documentaron para tomar acciones correctivas.

En la figura A.1, se observa un gráfico con las razones de incumplimiento de las tareas. Aquí se puede observar que predominan las fallas en los equipos, seguido de la información de diseño incompleta (se dificultó el planteamiento del proyecto y el cálculo de los niveles de desmonte y terraplén debido a la falta de detalles).

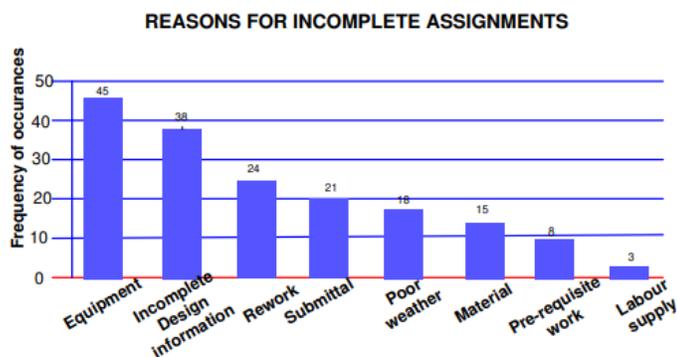


Figura A.1: Razones de tareas incompletas (19/11/12 - 21/01/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

A.1.2. Fase 2

Posteriormente, se calcularon los PPC para las próximas semanas, con un proceso de evaluación de la implementación realizada. En esta segunda fase, se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla A.2 y figura A.2.

Tabla A.2: Comparación 8 semanas de PPC (28/01/13 - 18/03/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

Fecha de inicio semana	Nº tareas completadas	Nº tareas incompletas	Total actividades/tareas	PPC
28/01/2013	8	3	11	73 %
04/02/2013	7	2	9	78 %
11/02/2013	9	4	13	69 %
18/02/2013	9	3	12	75 %
25/02/2013	8	3	11	73 %
04/03/2013	10	2	12	83 %
11/03/2013	11	4	15	73 %
18/03/2013	9	3	12	75 %
Total	71	22	93	76 %

De la tabla anterior, se observa que se obtuvo una mejoría del PPC en relación a la fase anterior, aumentando de 67 % a 76 %.

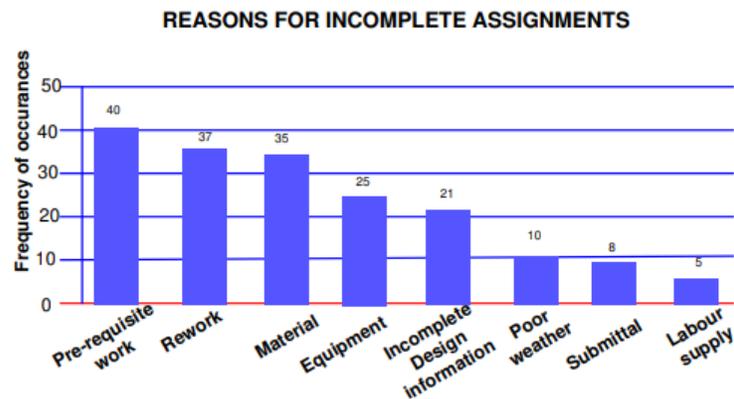


Figura A.2: Razones de tareas incompletas (28/01/13 - 18/03/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

Del gráfico de la figura anterior, se puede observar que la razón más frecuente del incumplimiento de las tareas, fueron los prerrequisitos de trabajo, lo cual generó retrasos como resultado de esperar a que se completara una tarea antes de otra. Esto se debió a la naturaleza de la etapa en que se encontraba la construcción, en esta etapa la mayoría de las actividades dependían de los movimientos de tierra.

El segundo motivo se debió a que las superficies compactadas tuvieron que ser escarificadas y compactadas una y otra vez, lo cual afectó el cumplimiento de las tareas planificadas. La tercera razón fue la falta de disponibilidad de materiales, lo cual se debió a disturbios de una comunidad vecina, la cual era el único acceso al sitio del proyecto y a los proveedores.

A.1.3. Fase 3

Para esta etapa, se obtuvieron los PPC que se muestran en la tabla A.3. Aquí acababan de completarse los trabajos de movimientos de tierra mientras se iniciaba la imprimación y el asfaltado.

Tabla A.3: Comparación 8 semanas de PPC (25/03/13 - 13/05/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

Fecha de inicio semana	Nº tareas completadas	Nº tareas incompletas	Total actividades/tareas	PPC
25/03/2013	9	3	12	75 %
01/04/2013	8	2	10	80 %
08/04/2013	7	2	9	78 %
15/04/2013	6	3	9	67 %
22/04/2013	5	1	6	83 %
29/04/2013	5	2	7	71 %
06/05/2013	6	2	8	75 %
13/05/2013	7	1	8	88 %
Total	53	16	69	77 %

En la figura A.3, se muestra que la principal razón de incumplimiento fue el clima, lo cual tuvo un efecto en cadena afectando el trabajo requerido. Las fuertes lluvias provocaron que gran parte de las tareas se suspendieran y que se tuviese que esperar a completar una tarea antes de comenzar otra.

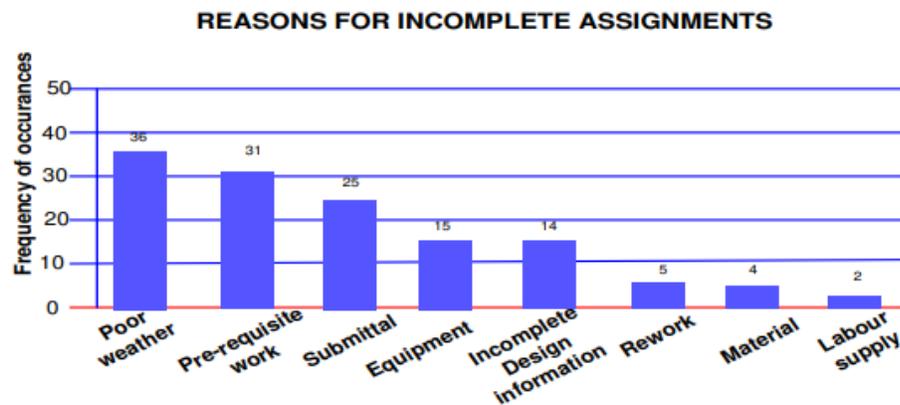


Figura A.3: Razones de tareas incompletas (25/03/13 - 13/05/2013). Fuente: Ahiakwo et al. (2015). Implementating The Last Planner System in a road construction project in Nigeria.

A.2. Perú

Este caso consistió de la construcción de una carretera de 7,1 kilómetros, de pavimento asfáltico de $7.500 m^3$, $2.000 m^3$ de obras de hormigón y $494.875 m^3$ de movimiento de tierras, que incluyeron $330.627 m^3$ de excavación en roca con explosivos (Olano et al. 2017).

El flujo de trabajo estuvo expuesto a múltiples restricciones externas que causaron variabilidad en su ejecución. Estas restricciones externas fueron condiciones climáticas adversas, huelgas, posibilidad de encontrar restos arqueológicos, control gubernamental por el uso de explosivos, entre otros.

En este caso de estudio se aplicaron las herramientas de Análisis del Valor Ganado (EVA) y Sistema Last Planner (LPS). Se aplicó este último para mejorar la confiabilidad del trabajo de programación mediante sus tres tipos de planes (maestro, intermedio con el lookahead y semanal). Se realizó la medición de confiabilidad semanal por el PPC, que indica qué porcentaje de trabajos realmente fueron ejecutados. Para el EVA, se calculó el Índice de Desempeño del Cronograma del Proyecto (SPI), el cual se realiza en base a las horas ganadas y las planificadas.

Se realizaron reuniones semanales en donde se buscó determinar las causas que provocaron el incumplimiento de las actividades planificadas, para aplicar correcciones y acciones preventivas en el desarrollo de la construcción. Las ventajas de esta metodología fueron la identificación, seguimiento y liberación de restricciones.

El periodo de recolección de datos fue de 41 semanas, hasta el 21 de noviembre de 2008, cuando el proyecto se encontraba con un 96.8 % de avance. En la figura A.4 se observa un gráfico con la evolución de los PPC y SPI.

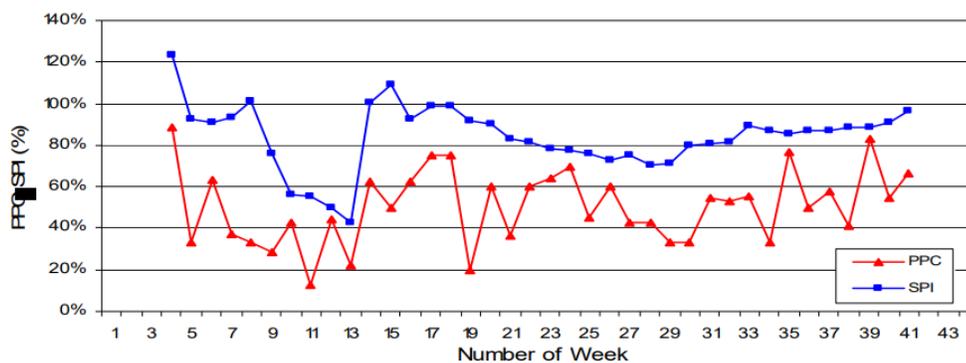


Figura A.4: Evolución del PPC y SPI. Fuente: Olano et al. (2017). Understanding the relationship between planning reliability and schedule performance: a case study.

Anexo B

Entrevistas realizadas

B.1. Preguntas

A continuación, se presenta una tabla con las preguntas realizadas en las entrevistas (tabla B.1).

Tabla B.1: Preguntas realizadas en las entrevistas.

Nº	Pregunta
1	¿En qué se desempeña actualmente?
2	¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?
3	¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema? Por ejemplo: edificación, carreteras
4	¿Qué beneficios ha traído su implementación?
5	¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?
6	¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

B.2. Transcripción de entrevistas

En esta sección, se exponen las entrevistas realizadas con sus preguntas y respectivas respuestas de los 7 entrevistados.

B.2.1. Jesús Inciarte

¿En qué se desempeña actualmente?

Ahora mi cargo es Ingeniero en Programación, veo todo lo que es la programación del proyecto, el cronograma, hago la parte de gestión de la implementación de Last Planner con los supervisores, jefes de terreno. En el proyecto donde estoy ahora, uno de los requisitos era tener conocimiento en Lean Construction, lo que es Last Planner y todo eso. No es un proyecto de carreteras, pero es multidisciplinario.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Profesionalmente y aplicado a la gestión de proyectos, es una herramienta bastante poderosa porque te permite evaluar el proyecto con una visión de futuro, donde se involucra desde la dirección hasta el supervisor en lo que es la identificación de las restricciones que se pueden generar, se dedican un tiempo a estudiar el proyecto, no trabajan de manera reactiva si no que más proactiva. Entonces para mi es muy potente porque eso falta mucho en los proyectos, solo se dedican de ver el día a día, con esta herramienta se da un momento dentro de la gestión para comenzar a analizar el futuro y con eso tomar acciones desde mucho antes.

Lo primero del Last Planner, es tener el programa maestro, con los hitos y metas. En función de eso vas sacando planes intermedios, después de eso, haces una programación semanal, pero antes de poder generarla, tienes que hacer el lookahead, lo que es simplemente mirar hacia el futuro. La duración de este depende de la duración, de la magnitud del proyecto. Para mi lo más importante del Last Planner es el lookahead.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Se aplica en todos, hospitales, edificios, escuelas, a todo le puedes implementar el Last Planner, con algunas particularidades, por ejemplo lo del lookahead, su duración depende del tipo de proyecto.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

El principal es la disminución o eliminación de la incertidumbre, y que tú puedes minimizar el riesgo de algún impacto que hayas detectado en el programa inicial. El aprendizaje continuo que vas a tener, porque una vez que eliminaste las restricciones o tomaste acciones con bastante antelación, vas a poder el día que te toca hacer lo que el programa dice y no te vas a atrasar. Vas a dejar de tener pérdidas por productividad. Como beneficio principal, elimina la incertidumbre y elimina los riesgos.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

Principalmente el cambio de cultura y que la dirección esté involucrada en implementar la metodología. Es difícil que las personas que están bajo la organización quiera cambiar la forma de hacer las cosas, como ellos tienen su experiencia, cuando quieres implementar algo nuevo, una buena práctica, es difícil. Hay personas que simplemente hacen las cosas como las saben hacer, no están abiertos a que una nueva práctica les mejore la gestión del proyecto. El Last Planner es de todos, todos los equipos están involucrados, todos tienen que aportar, lo principal es que la dirección esté convencida de que el sistema funciona para que se pueda implementar y que participen en la implementación.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

En Chile sé que se utiliza más que todo en la minería y en la parte de edificación. En mi experiencia en Chile, fue con una empresa inmobiliaria, pero mi conocimiento original no nació aquí, fue en Argentina, con una empresa brasileña. Por lo menos en Brasil es muy común y ya es cultura trabajar bajo la filosofía Lean. En la empresa donde estoy ahora, sé que ha trabajado en carreteras y no ha implementado como tal el Last Planner, porque la empresa no maneja el sistema, somos personas en específico que practicamos este sistema, en donde estoy sí porque es exigencia del proyecto.

B.2.2. Ricardo Mendez

¿En qué se desempeña actualmente?

Actualmente trabajo en el área de oficina técnica, que se divide en cubicación y costos, y coordinación de obras y programación. Yo tengo que ver coordinación de obras y programación, eso lo hago a través de la herramienta Last Planner. A nivel educacional, soy Ingeniero Constructor, estudié en la Universidad Autónoma, llevo 5 años realizando edificación en alturas.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Con respecto a mi opinión, es que es el método más eficiente para tú poder controlar el programa, porque se divide en las etapas del lookahead, donde analizas el futuro, lo cual hace que tú vayas barriendo el programa encontrando las cosas que lo obstaculizan, vas levantando restricciones y las vas resolviendo en el mediano y corto plazo, o largo plazo en la etapa de plan intermedio. También busca en el corto plazo, el proceso donde haces reuniones de carácter colaborativo, en donde toda la organización trabaja en conjunto, va al mismo foco, el mismo objetivo, vas tú cruzando los problemas de todos los involucrados, cosa de que al momento de ejecutar todo se resuelva de manera fluida. En la práctica, tengo muy buenas experiencias con este sistema.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Lo he aplicado solo en edificación en alturas, tengo 5 años de experiencia y he trabajado en 3 edificios, en los 3 lo he aplicado, así que igual tengo algo de experiencia ya con este método.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

El principal beneficio es que he tenido un control muy preciso en el desarrollo del proyecto, porque tú siempre estás semana a semana monitoreando, incluso al diario, tú tienes un plan o un programa semanal el cual tú en terreno lo vas viendo cómo se va desarrollando, las cosas que se ejecutan mal obviamente las vas corrigiendo. En la práctica el beneficio, es que cuando termina el proyecto sale en la fecha estimada que programaste en el inicio, ese es principalmente el objetivo del Last Planner, que tú puedas tener un control del proyecto eficiente.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

En la práctica, la mayor dificultad es que al ser un sistema que necesita que todos los participantes colaboren, aquí en construcción se da de que no siempre la gente tiene un grado de educación o un nivel técnico en el cual entiende las cosas que tú le pides, o puedes consensuar con ellos. Por ejemplo el Last Planner, entrega muchos indicadores de cómo va tu plan semanal, o el compromiso de las personas, cuáles son las causas de no cumplimiento, y ellos como no entienden para qué sirven esas cosas o qué trasfondo que hay detrás de eso, de obviamente ir buscando la solución a las cosas que van obstaculizando los cumplimientos, no siempre tienen esas ganas de colaborar o esa disposición de ayudar realmente. Hay otras personas que funcionan muy bien, así que ahí hay que ir viendo cómo se va dando y tomar las acciones para desarrollar bien el método.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

No tengo claro si se aplica en carreteras, no lo sé, nunca he trabajado en carreteras y tengo pocos amigos trabajando en cosas viales. Ahora, yo creo que se podría aplicar perfectamente, porque satisface con cualquier tipo de proyecto, incluso en minería he visto que lo aplican hartito, en viviendas, no veo por qué en carreteras no se podría llevar.

B.2.3. Jorge Villegas

¿En qué se desempeña actualmente?

Hoy día soy Jefe de Control de Proyectos, Jefe de Planificación.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Es un sistema que aporta mucho a cumplir las metas y a generar una trazabilidad en la operación de las obras, eso es como un resumen del concepto.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Nosotros hemos aplicado en obras de infraestructura, como hospitales, escuelas, edificios gubernamentales y en urbanizaciones de gran alcance, de 7 u 8 kilómetros en ciudades habitadas. En lo personal lo he aplicado en construcción de retail, como mall, centros comerciales, viviendas en extensión, viviendas en altura. No tiene limitaciones.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

Inicialmente un ordenamiento en la planificación de cada uno de los proyectos que ejecutamos. También nos ha permitido detectar las fallas o los problemas que tenemos como equipo para poder

actuar a tiempo y poder corregir esas fallas. También nos ha ayudado a aprender a mirar las estadísticas detrás de nuestras obras.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

Mira yo creo que principalmente, es la falta de compromiso a veces de los mismos profesionales que pertenecen a los equipos de obra. Pero es un problema, o una situación que se detecta al principio de los proyectos o mucha gente al principio de los equipos, cuando son nuevos, una vez que ya visualizan el aporte que tiene esta herramienta o cómo la empresa trabaja también, porque está alineado con eso, rápidamente pueden mejorar su nivel de compromiso. Pero principalmente ese es el problema más grave.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

Mira en carreteras no lo sé porque nosotros no trabajamos en esa área, así que no sabría decirte. Lo que sí puedo decirte es que se puede aplicar, porque es una herramienta transversal a cualquier tipo de proyectos. Muchas veces se mal entiende que la herramienta se puede aplicar solo en edificaciones de tipo repetitivas, pero en realidad la herramienta y la filosofía la puedes aplicar a cualquier tipo de proyectos. Lo que a veces difiere puede ser el tipo de herramienta, pero la base del sistema y la filosofía es transversal.

B.2.4. Sebastián Ponce

¿En qué se desempeña actualmente?

Actualmente soy Encargado de Planificación, es como el Jefe de Planificación de los proyectos, estuve en oficina central como Jefe de Planificación pero cuando me cambié de empresa me cambié a obra, en este caso estoy a cargo de un proyecto en el área de planificación. En la ruta de la fruta era el Encargado de Planificación e hice clases de Last Planner en la Universidad Católica de Valparaíso.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Bajo mi experiencia, yo pienso que el Last Planner como tal no es un método que se defiende por si solo, pero para aplicarlo necesitas una consciencia Lean muy fuerte de los integrantes, porque los valores de cada persona influyen en que el Last Planner sea bien o mal aplicado, porque no depende de una persona, es un grupo de trabajo que tiene que colaborar para que todo de frutos.

El Last Planner si lo aplicas una semana, va a haber un número, en otra semana va a haber otro porcentaje de actividades cumplidas por ejemplo, pero no va a haber una tendencia, no vas a poder sacar mayores conclusiones si no estás cumpliendo las actividades. Para que el Last Planner funcione de buena manera tienes que tener una consciencia muy clara de que las personas tienen que

saber pedir las cosas, entonces cuando aplicas Last Planner tienes que enseñarles a tu equipo de trabajo qué es el Last Planner y enseñarles gestión del compromiso, para que todos sepan lo que necesitan. También gestión visual, para que funcione el Last Planner, tiene que ser muy visual.

Para que esto sea visual, por ejemplo en obras viales tienes muchos supervisores, en una obra cada supervisor tenía una foto pegada con su nombre, descripción de cargo y planificación en la semana. Entonces una vez a la semana nos juntábamos, y él informaba a todo el equipo lo que había logrado hacer y lo que no había logrado y por qué no lo había podido lograr. Si existían restricciones, ahí nacía un compromiso de que la persona responsable, por ejemplo de oficina técnica o de diseño o de ingeniería, tenía que subsanar esa restricción que tenía para poder avanzar.

En obras viales generalmente las restricciones más grandes que tú tienes, son dos principalmente: el cambio de instalaciones, tendidos eléctricos, sanitarios, red de agua o red de alcantarillado y también el tema de las expropiaciones. Las expropiaciones no dependen de la constructora, dependen de la sociedad concesionaria o directamente del MOP o Serviu. Por ejemplo a gente se le había expropiado en concesiones anteriores, recibieron el dinero, se quedaron en la casa, vendieron el terreno y los nuevos dueños no sabían que había sido expropiado, entonces se genera otro conflicto legal que podía durar años.

Si es una ruta nueva, tiene menos variables a diferencia de la ruta de la fruta que es una ruta que ya existe, que debe ensancharse, cumplir todos los estándares de seguridad de una ruta nueva, pero es una ruta entre comillas que está preestablecida, que tiene algunos cambios de eje pero en general es una ruta que ya estaba hecha, es un mejoramiento. De igual manera, tienen que haber expropiaciones nuevas, cambios de tendidos eléctricos que esos son los más complicados, porque es una empresa que no depende de ti, entonces tienes que planificar la obra de tal manera que no te afecte en los plazos.

También existen los planes de manejo ambiental y forestal, donde por ejemplo en la ruta de la fruta habían espinos, por ejemplo 20 espinos juntos, y tú no puedes cortarlos porque es un árbol chileno protegido, entonces no puedes llegar y cortarlos. Hay que hacer un plan de manejo de esos 20 espinos, entonces ya los plazos no son los mismos de ejecución de una obra que no tuviese ninguna restricción.

En las reuniones de planificación, a través del Last Planner, tú tienes que ir diciendo yo voy a construir de tal a tal, pero tengo estas restricciones, y ahí vas viendo cuánto tiempo te va a tomar poder ejecutar una actividad.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Lo he aplicado en edificios en altura, hospitales y en rutas. Específicamente en la ruta de la fruta, de San Fernando a San Antonio, estuve 1 año y medio en ese proyecto, ahí aplicamos una pincelada

de Last Planner.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

Ayuda en el cuadrado de vida de los proyectos, que es tiempo, costo, calidad y seguridad de los trabajos. En obras viales la seguridad de los trabajadores es lo más importante, volviendo al caso de la ruta de la fruta, es una obra donde tienes flujo vehicular constante y además estás ejecutando trabajos, entonces si no planificas bien los trabajos, vas a aumentar el riesgo de los trabajadores, que al final son tu materia prima además de los materiales para poder ejecutar tus trabajos.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

Las desventajas más grandes de aplicarlo en equipos tan grandes es que no estén alineados con la aplicación del Last Planner, eso es lo más complicado. Como trabajas con personas, tú le hablas de Last Planner a personas que no están integradas en metodologías Lean, y cuesta más.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

Entiendo que en este minuto están en estudios en la ruta 78, están aplicando Last Planner en etapa de diseños, en algún minuto cuando empiecen a ejecutarla, también van a aplicarlo en obra. La otra obra que entiendo que en algún minuto lo estaban aplicando es la ruta que va a unir el Canal Chacao con la ruta hacia Castro, ahí entiendo que están haciendo un bypass y aplicando Last Planner.

B.2.5. Marcelo Concha

¿En qué se desempeña actualmente?

Actualmente soy consultor de proyectos, me dedico a la consultoría de proyectos de construcción y minería. Principalmente lo que corresponde a implementación de herramientas Lean y también procesos de transformación Lean completos, a eso me dedico actualmente.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Creo que es un sistema bastante útil si se usa de buena manera, por supuesto, si se da el énfasis y el respaldo por parte de la jefatura. Pero nos encontramos que a nivel de Chile, tenemos muchas diferencias en la implementación a lo largo de los distintos proyectos. Hay proyectos en donde está bien implementado, otros muy mal, yo diría que en promedio no está tan bien implementado y su implementación decae mucho en el tiempo.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Minería, proyectos de construcción de caminos, también en proyectos de construcción en extensión

y de viviendas, también edificación en alturas.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

Principalmente, mejorar la comunicación dentro del proyecto. En todos los proyectos logra eso como beneficio intangible, porque hace conversar a la gente de problemas, de oportunidades, de compromisos que antes no se hacía de la manera tradicional. Ahora hablando de beneficios concretos, pero no se da siempre en todos los proyectos, donde está bien implementado se da importantes ahorros en costos, en plazos y en seguridad.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

Hay varias, en primera instancia una de las barreras fuertes es que no se considera una mirada integral que aborda los subcontratos del proyecto. Esto hace difícil la participación de estos cuando no está ligado al contrato, cuando la participación del subcontrato es voluntaria, finalmente hace que esa participación voluntaria termina cayendo en inasistencia, baja integración con la metodología y es una de las causas importantes de que falle a la hora de implementarlo, porque uno puede tenerlo bien desplegado en el equipo propio pero si los subcontratos no se suman, es una causa importante.

Otra causa importante de falla de Last Planner, es que se enfocan demasiado en la herramienta y no la entrenan, se quedan o con un software en particular o con la mecánica pero no hay un entrenamiento que va un poco más a las personas, por ejemplo preguntarse el por qué, establecer causas raíces, dedicarse buen tiempo a levantar restricciones, a identificarlas, a resolverlas. Entonces nos quedamos demasiado en la estructura pero hay cosas que se dejan de hacer que son super importantes. Lo otro también, es que uno tiene que tratar de hacer esto simple para los capataces, supervisores y todos los que participen.

En tercer lugar, otra causa es porque no tenemos un fuerte respaldo y convencimiento de parte de la gerencia y mandos altos a nivel de la empresa. Entonces intentan con Last Planner, por uno, dos, tres meses, y como no resulta este esfuerzo, se echa atrás. Siendo que con Last Planner u otra herramienta Lean, hay que entender que es un camino de mejora continua en donde me puedo equivocar, tengo que aprender de esa equivocación y luego hacer ajustes para implementarla nuevamente.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

Sí, se aplica para carreteras, lo que pasa es que a veces se tiene la complicación, de partida geográfica para poder implementarlo con el equipo, porque están en distintos frentes, no necesariamente tienen acceso a internet. Entonces las rutinas que pueden ser las reuniones diarias, semanales, te cuesta un poco llevarlas, pero tienes que buscar cómo hacerlas más simples, por ejemplo dividir el proyecto en tramos y preparar cada tramo como si fuera una fase.

B.2.6. Luna Álvarez

¿En qué se desempeña actualmente?

Trabajo en una empresa que se dedica a hacer asesorías implementando el sistema Last Planner. Hay empresas que no lo tienen implementado y otras que lo tienen implementado pero quieren mejorar, tenemos distintos niveles de asesorías. Antes también trabajé en la CDT, haciendo asesorías Last Planner.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Me gusta porque finalmente la planificación semanal y las reuniones de planificación, la mayoría de los proyectos si lo hacen pero esto, uno tiene la planificación intermedia que eso si que no lo hacen los proyectos y organizarse con la información que llevan, porque muchos tienen reuniones de planificación semanal, definen con la gente lo que van a hacer pero no queda bien escrito, no se llevan las causas de incumplimiento. Entonces este orden que le da el sistema Last Planner, uno le puede sacar mucho más provecho y le da más seriedad, la gente se “camisetea” más. Y bueno, sí o sí hacer partícipe a todo el equipo, porque muchas veces igual hay reuniones de planificación que prefieren no incluir a los subcontratistas, y a todo nivel de los agentes claves de la planificación pero en este sistema no, tienen que estar todos, y uno ve claramente que cuando están todos, realmente se hace el compromiso y se “camisetean” con la planificación.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

En MPlanner, es edificación y viviendas en extensión, condominios de 100 casas, cosas así, también estuvimos en minería, pero en obras civiles en minería. En la CDT, además de edificios y casas que siempre es la mayoría, también estuvimos en un proyecto de vialidad en Mall, en la construcción del Mall Plaza Los Dominicos y en el Plaza Costanera, eso era gigante porque en verdad eran reuniones separadas, solo de instalaciones, solo de terminaciones, solo de obra gruesa, porque era un montón de gente en cada reunión.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

La colaboración del equipo, que hacer planificación en base a la colaboración del equipo, que las planificaciones sean más realistas y confiables, porque ellos como están haciendo una planificación de verdad, ellos van a confiar y mejoran los niveles de cumplimiento de la planificación, que una planificación impuesta que solo les llega una planificación que es de acuerdo a lo que pide el programa, pero no necesariamente lo que pueden hacer, entonces eso es muy importante.

La mejora continua con las causas de incumplimiento, el análisis de las causas, sirve también para ir mejorando y motivando al equipo a tener resultados mejores, y la detección de solución de las

gestiones que se deben hacer con tiempo, a través del análisis de plan intermedio, uno detecta compras que se tienen que hacer con mucha anticipación, gestión de un material que todavía no está definido, el color o el código, la posición de un enchufe, eso se analiza al mirar en detalle el plan intermedio y ver con tiempo los problemas que en verdad no alcanzan a ser problemas, porque son temas que hay que solucionar, pero para evitar que sean problemas.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

La resistencia al cambio del equipo, no todos los equipos, pero lo que hemos visto, es que cuando la jefatura no está alineada, muchas veces este pedido de implementar el sistema Last Planner, viene por ejemplo de gerencia, gerencia quiere que tenga sistema Last Planner, los subgerentes y el administrador de obra, si el administrador no está convencido, el resto del equipo es muy alineado en que si la jefatura no está comprometida, el resto del equipo tampoco se compromete porque no es algo que los motive. Entonces, esto resulta mejor cuando es una iniciativa de la empresa, que toda la empresa está alineada a que tengan el sistema Last Planner y todos los jefes de cada obra también están alineados con eso, ahí es mucho más fácil que todo el equipo esté comprometido con el sistema. Mucha gente dice que la gente de terreno son los más difíciles de convencer y de cambiar el switch para esta metodología, pero en verdad no es así, ves que incorporamos a los subcontratistas, a los supervisores que están en terreno, y hay un equipo de obra que está todo comprometido con estas reuniones, en general es muy difícil encontrar alguno que no se adapte, que no quiera participar, que no le ponga empeño. Las veces que se frena es porque la jefatura no le pone empeño, no está tan motivado con la metodología, entonces finalmente las personas son lo principal, la participación de todo el equipo, y para motivar eso la jefatura debe estar alineada.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

Si estuvimos en CDT, era un proyecto que estuvimos en carretera. Se puede, totalmente, si es un proyecto igual repetitivo, pero no sé decirte si así en 20 proyectos de carretera lo usan, no sé.

B.2.7. Nicolás Salinas

¿En qué se desempeña actualmente?

Soy líder de un equipo de consultores, lo que hacemos básicamente es desplegar metodologías Lean en distintas empresas, como aeropuerto, puertos, industrias de la energía, construcción, sector bancario, eso. Construcción estuvo débil este año pero ese es nuestro fuerte. Estoy a cargo del equipo de consultores y ellos despliegan los servicios y yo los apoyo en lo que hay que hacer, en diseño, implementación y soporte de los servicios.

¿Cuál es su opinión con respecto al sistema Last Planner?

Opino que es una herramienta espectacular para poder hacer gestión de proyectos, creo que la in-

dustria chilena la necesita bastante porque atenta directamente contra la cultura que hoy tenemos, que está muy basada en empujar, en no organizarse, en no planificar. Last Planner viene de una manera super bonita a solucionar ese problema, a través de la colaboración, trabajo en equipo, transparencia, cultura Lean. Entonces creo que es una herramienta de solucionar muchas cosas que son propias de la industria chilena, y de la industria de la construcción propiamente como tal, y también creo que no solamente debiésemos acotar Last Planner a edificaciones y abrirnos a obras viales, pero también hay otras industrias, he tenido la oportunidad de implementarlo en el sector tecnológico y oficinas de ingeniería también.

¿En qué tipo de contratos ha aplicado este sistema?

Básicamente en las mismas industrias que te acabo de mencionar, pero haciendo un zoom, son contratos que tienen que ver con hacer gestión sobre muchos proyectos, tenemos un cliente que tiene alrededor de 500 proyectos y los gestionamos con Last Planner, es algo que igual como empresa diseñamos y con un fuerte elemento de gestión de datos, mucho control y modelado de datos, y generación de indicadores que tienen que ver con eso. Last Planner es el núcleo, el motor de la planificación que le llamamos, y ahí empieza a crecer todo sobre esta metodología. Lo que hay que tener cuidado es que si no lo acompañas, es difícil que funcione, pero cuando eso está, funciona, es bien potente.

¿Qué beneficios ha traído su implementación?

El que se me viene a la mente, es que mejora el clima laboral, mejora la comunicación entre los involucrados que están en torno a un proyecto. Disminuye evidentemente los plazos, la duración real del proyecto se disminuye porque Last Planner ayuda a atacar la incertidumbre, y eso hace que la variabilidad de los proyectos caiga, entonces se vuelve mucho más estable, con un flujo mucho más continuo, por lo tanto eso incide directamente en los tiempos. Si hablamos de tiempo, evidentemente también nos bajan los costos, pero no solamente por el tiempo, si no que con el lookahead, si hago un levantamiento de restricciones, si miro el futuro y voy de manera ordenada planificando los recursos, evidentemente también reduzco pérdidas. Entonces los beneficios si te los resumo, disminución de la variabilidad de los proyectos, cumplimiento de plazos, cumplimiento de costos y trabajo más colaborativo.

¿Cuáles han sido las principales dificultades al momento de su aplicación?

Es lo que te mencioné en un principio, la cultura chilena. Nosotros tenemos una cultura muy de empuje, planificamos poco, queremos lanzarnos cuanto antes, creo que la industria chilena en general, en las distintas industrias, hay mucha ansiedad de partir rápido los proyectos y, partimos, no nos planificamos y empezamos a apurar, generar un modelo de planificación tradicional, a la antigua, que tiene que ver con apurar a la gente, sin que tenga los recursos, sin que haya una planificación de los recursos, sin ninguna clase de análisis, sin aprendizaje, porque igual estoy claro que

las constructoras o las empresas se preocupan de mirar sus procesos y aprender, pero Last Planner lo hace de manera sistemática semana a semana. Cuando le aplicaste Last Planner a un proyecto, ese proyecto se termina y te queda una gran data para analizar y ver cómo te fue y aprender para que eso no te vuelva a ocurrir. Entonces si te fijas, el aprendizaje no se da solamente en el periodo semanal, se da también mensual, anual, dependiendo de la dimensión del proyecto, a nivel de cartera de proyecto o en un periodo gigante, lo cual es bastante potente.

¿Tiene conocimiento de que se aplique actualmente en carreteras?

Tuvimos un proyecto, no puedo decir el cliente, pero sé que se implementó. Actualmente estamos con un cliente haciéndole entrenamientos de Last Planner, y él trabaja con asfaltos, no sé si propiamente tal es un proyecto de construcción de carreteras pero sí los ejecutivos que están en la oficina central, que tienen que ver con proyectos viales, se están entrenando hoy con alguno de nuestros consultores en metodología Last Planner. También sé que el año pasado, se hicieron varias implementaciones de Last Planner en algunos equipos, así que sí ahí fue en la construcción de obras viales, este año no, solamente estamos entrenando a la planta ejecutiva, no a los equipos de obra.

Anexo C

Análisis maquinarias

En esta sección se observan los datos obtenidos del Manual de rendimientos Caterpillar (2016), para la obtención de los rendimientos de las maquinarias.

C.1. Excavadora hidráulica CAT 336D2 L

MODELO	336D2 GC		336D2 L		336D2 L	
	China		Asia Pacifico, América del Sur		Oriente Medio, África	
Ofertas regionales						
Potencia del motor:						
ISO 9249	201 kW	270 hp	200 kW	268 hp	200 kW	268 hp
SAE J1349	201 kW	270 hp	N/D		N/D	
Peso en orden de trabajo*	32.900 kg	72.500 lb	34.489 a 37.086 kg	76.035 a 81.761 lb	34.489 a 37.086 kg	76.035 a 81.761 lb
Alcance de capacidad del cucharón (colmado)	1,64 m ³	2,14 yd ³	0,7-2,2 m ³	0,9-3,0 yd ³	1,11-2,4 m ³	1,45-3,14 yd ³
Modelo del motor	C9 ACERT		C9 ACERT		C9 ACERT	
Normas de emisiones	Tier 3/Stage IIIA/ Equivalente a Japón 2006 (Tier 3 Interim)		Equivalente a las normas Tier 2/ Stage II		Equivalente a las normas Tier 2/ Stage II	
Rpm nominales del motor	1.800		1.800		1.800	
No. de cilindros	6		6		6	
Calibre	112 mm	4,41"	—		—	
Carrera	149 mm	5,87"	—		—	
Cilindrada	8,8 L	537 pulg ³	8,8 L	537 pulg ³	8,8 L	537 pulg ³
Rendimiento máximo de la bomba hidráulica del implemento a las rpm nominales	562 L/min	148 gal EE.UU./min	2 x 265 L/min	2 x 70 gal EE.UU./min	2 x 265 L/min	2 x 70 gal EE.UU./min
Ajustes de la válvula de alivio:						
Circuitos del implemento	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Circuitos de desplazamiento	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Circuitos de giro	28.000 kPa	4.061 lb/pulg ²	28.000 kPa	4.061 lb/pulg ²	28.000 kPa	4.061 lb/pulg ²
Circuitos del piloto	4.000 kPa	580 lb/pulg ²	4.000 kPa	580,2 lb/pulg ²	4.000 kPa	580,2 lb/pulg ²
Tracción máxima en la barra de tiro	302 kN	67780 lbf	300,5 kN	67555 lbf	300,5 kN	67555 lbf
	Dos velocidades de desplazamiento					
Velocidad máxima de desplazamiento a rpm nominales	Baja: 2,9 km/h Alta: 4,6 km/h	1,8 mph 2,9 mph	4,85 km/h	3,0 mph	4,85 km/h	3,0 mph
Ancho de la zapata de cadena estándar	600 mm	24"	700 mm	28"	700 mm	28"
Longitud total de cadenas	4.590 mm	15' 1"	5.020 mm	16' 6"	5.020 mm	16' 6"
Área de contacto con el suelo con zapata estándar	4,7 m ²	7.350 pulg ²	6,1 m ²	9.500 pulg ²	6,1 m ²	9.500 pulg ²
Entrevía	2.590 mm	8' 6"	2.590 mm	8' 6"	2.590 mm	8' 6"
Capacidad de llenado del tanque de combustible	620 L	164 gal EE.UU.	620 L	163,79 gal EE.UU.	620 L	163,79 gal EE.UU.
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	410 L	108 gal EE.UU.	410 L	108,31 gal EE.UU.	410 L	108,31 gal EE.UU.

*El peso en orden de trabajo incluye refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno, zapatas estándares, cucharón y operador de 75 kg (165 lb).
NOTA: Es posible que ciertos modelos no estén disponibles en todas las áreas de ventas.
 Las especificaciones también pueden variar por área de ventas.
 Comuníquese con su distribuidor Cat para conocer los detalles.

Figura C.1: Especificaciones excavadora hidráulica CAT 336D2 L. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

Manipulación	Gama de factores de llenado (Porcentaje de la capacidad del cucharón colmado)
Marga húmeda o arcilla arenosa	A — 100-110 %
Arena y grava	B — 95-110 %
Arcilla dura y resistente	C — 80-90 %
Roca: bien tronada	60-75 %
Roca: mal tronada	40-50 %

Figura C.2: Factor de llenado cucharón excavadora hidráulica CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

Metros cúbicos por hora de 60 minutos*

TIEMPOS DEL CICLO CALCULADOS		CARGA ÚTIL ESTIMADA DEL CUCHARÓN** – METROS CÚBICOS DE MATERIAL SUELTO																		TIEMPOS DEL CICLO CALCULADOS			
Tiempo de ciclo		0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0	Ciclos por min	Ciclos por h	
Segundos	Min																						
10,0	0,17																					6,0	360
11,0	0,18																					5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270															5,0	300	
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1.080	4,5	270	
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	4,0	240	
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	3,5	210	
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720	3,0	180	
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	2,5	150	
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	2,0	120	
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	1,7	102	
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	1,5	90	
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	1,3	78	
50,0	0,83																				1,2	72	

Figura C.3: Metros cúbicos por hora excavadora hidráulica CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

C.2. Motoniveladora CAT 140M3

MODELO	12M3		140M3		160M3	
Potencia base: neta	133 kW	179 hp	149 kW	200 hp	165 kW	221 hp
Gama de VHP Plus: neta	133 a 172 kW	179 a 231 hp	149 a 188 kW	200 a 252 hp	165 a 203 kW	221 a 272 hp
Peso en orden de trabajo (normal)*	16.974 kg	37.420 lb	17.323 kg	38.191 lb	17.563 kg	38.719 lb
Modelo del motor	C9.3 ACERT		C9.3 ACERT		C9.3 ACERT	
Rpm nominales del motor	2000		2000		2000	
No. de cilindros	6		6		6	
Cilindrada	9,3 L	567 pulg ³	9,3 L	567 pulg ³	9,3 L	567 pulg ³
Extensión Par	1.138 N-m	840 lb-pie	1.247 N-m	920 lb-pie	1.355 N-m	1.000 lb-pie
No. de velocidades de avance/ retroceso	8/6		8/6		8/6	
Velocidad máxima: avance	46,6 km/h	29,0 mph	46,6 km/h	29,0 mph	47,4 km/h	29,5 mph
retroceso	36,8 km/h	23,0 mph	36,8 km/h	23,0 mph	37,4 km/h	23,3 mph
Neumáticos estándar: delanteros y traseros	14.00R24 * (G-2)		14.00R24 * (G-2)		14.00R24 * (G-2)	
Eje delantero/dirección:						
Ángulo de oscilación	32°		32°		32°	
Ángulo de inclinación de la rueda	18,0°		18,0°		18,0°	
Ángulo de dirección	47,5°		47,5°		47,5°	
Ángulo de articulación	20°		20°		20°	
Radio mínimo de giro**	7,6 m	24' 10"	7,6 m	24' 10"	7,6 m	24' 10"
No. Zapatas de soporte del círculo	6		6		6	
Sistema hidráulico:						
Tipo de bomba	Pistón variable		Pistón variable		Pistón variable	
Extensión Flujo de la bomba	55,7 gal EE.UU./ min		55,7 gal EE.UU./ min		55,7 gal EE.UU./ min	
Capacidad del tanque	64 L	16,9 gal EE.UU.	64 L	16,9 gal EE.UU.	64 L	16,9 gal EE.UU.
Presión del implemento: máx.	24.150 kPa	3.500 lb/pulg ²	24.150 kPa	3.500 lb/pulg ²	24.150 kPa	3.500 lb/pulg ²
mín.	6.100 kPa	885 lb/pulg ²	6.100 kPa	885 lb/pulg ²	6.100 kPa	885 lb/pulg ²
Nivel de ruido interior/SAE J919	71 dB(A)		71 dB(A)		71 dB(A)	
Sistema eléctrico:						
Tamaño del sistema	24 V		24 V		24 V	
Batería estándar CCA a 0 °F	1125		1125		1125	
Distancia Alternador	150		150		150	
DIMENSIONES GENERALES:						
Altura (hasta la parte superior de la ROPS)	3.308 mm	130,2"	3.308 mm	130,2"	3.308 mm	130,2"
Longitud total	8.912 mm	350,9"	8.912 mm	350,9"	8.912 mm	350,9"
Con desgarrador y plancha de empuje	10.136 mm	399,1"	10.136 mm	399,1"	10.136 mm	399,1"
Distancia entre ejes	6.123 mm	241,1"	6.123 mm	241,1"	6.123 mm	241,1"
Base de la hoja	2.552 mm	100,5"	2.552 mm	100,5"	2.552 mm	100,5"
Ancho total (en la parte superior de los neumáticos delanteros)	2.511 mm	98,9"	2.511 mm	98,9"	2.511 mm	98,9"
Hoja estándar: longitud	3.658 mm	12' 0"	3.658 mm	12' 0"	4.267 mm	14' 0"
altura	610 mm	24,0"	610 mm	24,0"	610 mm	24,0"
grosor	22 mm	0,87"	22 mm	0,87"	22 mm	0,87"
Levantamiento sobre el suelo	480 mm	18,9"	480 mm	18,9"	480 mm	18,9"
Extensión Alcance del resalto:***						
Bastidor recto: lado izquierdo	1.790 mm	70,5"	1.790 mm	70,5"	2.090 mm	82,3"
Bastidor recto: lado derecho	1.978 mm	77,9"	1.978 mm	77,9"	2.278 mm	89,7"
Capacidad del tanque de combustible	394 L	104 gal EE.UU.	394 L	104 gal EE.UU.	394 L	104 gal EE.UU.
Capacidad del fluido de escape diésel	22,0 L	5,8 gal EE.UU.	22,0 L	5,8 gal EE.UU.	22,0 L	5,8 gal EE.UU.

*Peso en orden de trabajo: se basa en la configuración de máquina estándar, con tanque de combustible lleno, refrigerante, lubricantes y operador.

**Radio mínimo de giro: combina el uso de la dirección del bastidor articulado, la dirección de las ruedas delanteras y el diferencial desbloqueado.

***Aplicable para la hoja estándar con desplazamiento lateral hidráulico y control de la punta. El alcance máximo del resalto se puede obtener a la derecha.

Figura C.4: Especificaciones motoniveladora CAT 140M3. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

Velocidades de operación:

Velocidades de operación normales por aplicación

Nivelación de acabado:	0 a 4 km/h	(0 a 2,5 mph)
Explanación pesada:	0 a 9 km/h	(0 a 6 mph)
Reparación de acequias:	0 a 5 km/h	(0 a 3 mph)
Desgarramiento:	0 a 5 km/h	(0 a 3 mph)
Mantenimiento de carreteras:	5 a 16 km/h	(3 a 9,5 mph)
Mantenimiento de caminos de acarreo:	5 a 16 km/h	(3 a 9,5 mph)
Barrido de nieve:	7 a 21 km/h	(4 a 13 mph)
Uso de alas para nieve:	15 a 28 km/h	(9 a 17 mph)

Figura C.5: Velocidad de operación motoniveladoras. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

Longitud de la vertedera, m (pies)	Longitud efectiva, m (pies) Ángulo de la hoja de 30 grados	Longitud efectiva, m (pies) Ángulo de la hoja de 45 grados
3,658 (12)	3,17 (10,4)	2,59 (8,5)
4,267 (14)	3,70 (12,1)	3,02 (9,9)
4,877 (16)	4,22 (13,9)	3,45 (11,3)
7,315 (24)	6,33 (20,8)	5,17 (17,0)

Para otras longitudes de hoja y otros ángulos de acarreo:
 $\text{longitud efectiva} = \text{COS} [\text{Radianes (Longitud de la hoja)}] \text{ Longitud de 3 hojas}$

Figura C.6: Longitud efectiva de la hoja de motoniveladoras. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).

C.3. Rodillo compactador CAT CS54B

Modelo	Ancho del tambor		Espesor de levantamiento		Pasadas requeridas	Cálculos de producción			
	cm	"	cm	"			Zanja de 3,7 m (12')	Base del camino de 9,15 m (30')	Zonas amplias
CS423E, CS44	167,6	66	10,2	4	4	m ³ /h	159	249	249
						yd³/h	209	326	326
CS533E, CS54, CS56, CS54B, CS56B, CS64B, CS66B	213,4	84	15,2	6	6	m ³ /h	239	299	324
						yd³/h	313	391	424
CS64 CS68B	213,4	84	15,2	6	5	m ³ /h	—	373	405
						yd³/h	—	489	530
CS74, CS74B	213,4	84	15,2	6	4	m ³ /h	—	448	486
						yd³/h	—	587	636
CS76 CS76B	213,4	84	15,2	12	6	m ³ /h	—	598	648
						yd³/h	—	782	848
CS76 XT, CS78B	213,4	84	15,2	12	4	m ³ /h	—	896	972
						yd³/h	—	1.174	1.272
CP44	167,6	66	15,2	6	6	m ³ /h	159	199	249
						yd³/h	209	261	326
CP533E, CP54, CP56, CP54B, CP56B	213,4	84	30,5	12	6	m ³ /h	478	478	647
						yd³/h	626	626	847
CP76, CP68B, CP74B	213,4	84	30,5	12	6	m ³ /h	—	598	648
						yd³/h	—	782	848

Figura C.7: Rendimiento rodillos compactadores CAT. Fuente: Manual de rendimientos Caterpillar (2016).